

## 5 Ein Modell zur Simulation individueller Einkaufsentscheidungen

Dieses Kapitel wird sich mit der Lösung der Aufgabe widmen, individuelle Einkaufsentscheidungen mittels eines Multiagentenansatzes zu simulieren. Dazu ist zunächst ein Modell dieser Entscheidungen zu erstellen, in einer Simulationssoftware zu implementieren und anschließend ein Realitätsabgleich vorzunehmen, der Anregungen zu Modellverbesserungen geben soll.

Der Lebensmitteleinkauf eines privaten Haushalts unterliegt als Teil einer Versorgungskette den Regelmäßigkeiten des Handels und ist in einen Angebot-Nachfrage-Zusammenhang einzuordnen. So gehört zu seiner Modellierung die Darstellung und Operationalisierung der Angebotsseite, also der Geschäfte, der Nachfrageseite, also der Konsumenten, sowie der Austauschbeziehungen unter diesen, die in einem Interaktionsraum, dem „Markt“, stattfinden (Fig. 5-1). Allen drei Elementen sind spezifische Attribute zugeordnet:

- Die Konsumenten besitzen sozioökonomische Attribute, wie Einkommen, Geschlecht, Haushalts-/Familiengröße, die ihrem Konsumverhalten einen äußeren Rahmen geben. Insbesondere im Lebensmittelsektor ist der Konsum mengenmäßig beschränkt: Jeder Mensch benötigt eine Mindestmenge an Essen zum Überleben, kann aber auch bei höherem Wohlstand nicht unbeschränkt Nahrung aufnehmen („Engelsches Gesetz“). Dazu kommen noch individuelle Vorlieben, Gewohnheiten, Meinungen, Lebensstile etc.
- Die Attribute der Angebotsseite, der Geschäfte, lassen sich in eher quantitativ und eher qualitativ zu interpretierende unterteilen. Da sind zunächst Umsatz, Größe, Betriebs- und Organisationsform, Preisniveau, Lage und Erreichbarkeit zu nennen, des Weiteren angebotener Service (Bedienung/Beratung, Öffnungszeiten) und Qualität der Produkte. Als eher qualitative Attribute können u.a. Image des Unternehmens und Atmosphäre des Geschäfts gelten.
- Der „Markt“ schließlich, auf dem Angebot und Nachfrage sich physisch treffen sollen, ja zwecks des Warenaustauschs treffen müssen, muss eine solche Zusammenkunft ermöglichen und Regeln dafür bereitstellen.

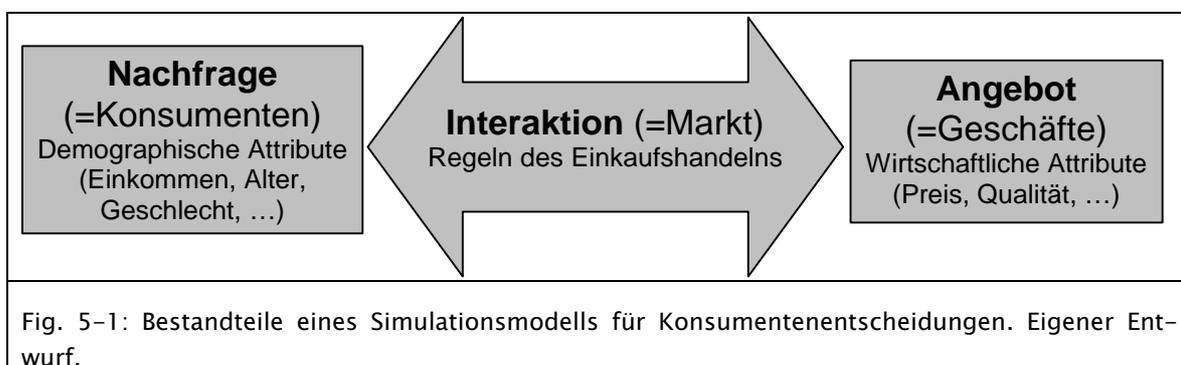


Fig. 5-1: Bestandteile eines Simulationsmodells für Konsumentenentscheidungen. Eigener Entwurf.

Wie bereits oben dargestellt, sollte ein Modell für Einkaufsentscheidungen alle drei Teilnehmer dieses Austauschprozesses enthalten. Aus organisatorischen Gründen wird hier mit der Nachfrageseite begonnen.

## 5.1 Operationalisierung der Nachfrageseite

Die vorhandenen Daten der Nachfrageseite wurden bereits in Kapitel 4.1.1 vorgestellt, die dort eingeführten Bezeichnungen werden hier weiterverwendet. Die Individualdaten waren bereits zu Familien zusammengefasst und für diese eine lebensmittelrelevante Kaufkraft ermittelt worden.

Der nächste Schritt besteht aus der Berechnung von Präferenzen der Konsumenten für bestimmte Geschäftsattribute. Diese können als Wahrscheinlichkeiten interpretiert werden, sich aufgrund des jeweiligen Attributs für ein Geschäft zu entscheiden. Eine von der Arbeitsgruppe im Jahr 2002 durchgeführte *Point-of-Sale*-Befragung in Umeå<sup>117</sup> lieferte dafür die Grundlage. Etwa 1.100 Kunden wurden nach der Bedeutung der Kriterien Nähe des Angebots zum Wohn- und Arbeitsort, zu anderen Angebotsorten (Agglomeration), bezüglich niedrigen Preisen, hoher Qualität der Produkte, Sortimentsbreite, Serviceangebot und Atmosphäre des Geschäfts beim Lebensmitteleinkauf gefragt und zusätzlich gebeten, ihr Geschlecht, Alter, Haushaltseinkommen und –größe anzugeben.<sup>118</sup> Aus den Ergebnissen dieser Befragung ließen sich binäre Logitgleichungen (5.1a-h) für die Einkaufspräferenzen der Befragten in Abhängigkeit ihrer sozioökonomischen Merkmale gewinnen. In die Gleichungen wurden nur die auf dem Niveau 0,1 signifikanten Größen als Regressoren aufgenommen, war keine signifikant, blieb die einfache relative Häufigkeit der Nennung „bedeutsam“ stehen.

$$\text{Wohnungsnähe} \quad Y = -0,122 * \text{FamGr} - 0,011 * \text{FamEk} + 1,261 \quad (5.1a)$$

$$\text{Arbeitsplatznähe} \quad Y = -2,091 \quad (5.1b)$$

$$\text{Agglomeration} \quad Y = 0,170 * \text{FamGr} - 1,714 \quad (5.1c)$$

$$\text{Niedrige Preise} \quad Y = 0,170 * \text{FamGr} - 0,037 * \text{FamEk} - 0,451 \quad (5.1d)$$

$$\text{Hohe Qualität} \quad Y = -0,269 * \text{Geschl} + 0,013 * \text{Alter} - 0,235 * \text{FamGr} + 0,034 * \text{FamEk} - 0,588 \quad (5.1e)$$

$$\text{Breites Sortiment} \quad Y = -0,010 * \text{Alter} - 0,756 \quad (5.1f)$$

$$\text{Serviceangebot} \quad Y = -1,901 \quad (5.1g)$$

$$\text{Atmosphäre} \quad Y = -0,443 * \text{Geschl} + 0,285 \quad (5.1h)$$

Die gefundenen Regressionskoeffizienten erscheinen durchweg plausibel. So werden mit steigendem Familieneinkommen die Entscheidungskriterien Nähe zum Wohnort und Preisniveau unwichtiger, dafür gewinnt das Qualitätskriterium an Bedeutung. Produktpreise, aber auch die Möglichkeit, mehrere Einkäufe miteinander zu koppeln, sind für größere Haushalte wichtiger als für kleinere, dagegen ist die wohnortnahe Versorgung typischerweise für kleine Haushalte (Singles) wichtiger. Produktqualität und Geschäftsatmosphäre sind für weibliche Einkäufer (*Geschl* = 1) bedeutsamer als für männliche (*Geschl* = 2). Kritisch zu betrachten sind die Präferenzen, deren Berechnung auf Konstanten beruht. Dies ist sicherlich keine Ideallösung, da dadurch die individuelle Ausdifferenzierung verloren geht, jedoch er-

<sup>117</sup> LÖFFLER & SCHRÖDL 2002.

<sup>118</sup> Der verwendete Fragebogen ist im Anhang 10.1 zu finden.

scheint es ebenso wenig sinnvoll, sich bei der Berechnung auf nicht signifikante Zusammenhänge zu stützen. Aus den Regressanden  $Y$  konnten anschließend nach folgender Formel Wahrscheinlichkeiten  $P$  für die Gewichtung der Geschäftsattribute abgeleitet werden:

$$P = \frac{e^Y}{1 + e^Y} \quad (5.2)$$

Bei den Gleichungen (5.1a-h) handelt es sich um binäre Regressionsmodelle, deren Güte mittels eines Gütemaßes zu überprüfen ist. Üblich ist die Verwendung eines so genannten Pseudo-R-Quadrat, dessen Berechnung sich an die des für lineare Regressionen verwendeten R-Quadrat anlehnt, jedoch die Binarität der abhängigen Variable berücksichtigt. Deren Wert  $b$  wird mittels des Vergleichs der Präferenz  $P$  mit einem Trennwert  $t$  in der folgenden Weise bestimmt:

$$b = \begin{cases} 1, & \text{falls } P \geq t \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (5.3)$$

Als Gütemaß werden anschließend die vorhergesagten Werte  $b$  mit den Beobachtungen verglichen. Die Ergebnisse sind in Fig. 5-2 zusammengefasst. Natürlich wird sofort deutlich, dass der Wert des Pseudo-R-Quadrats von Nagelkerkes vor allem von der Wahl des Trennwertes abhängt, entscheidet dieser doch über die Vorhersage der Werte für  $b$ , worauf auch GREENE (2003: 685) hinweist. Besonders bei ‚schiefen‘ Stichproben (viel häufiger 1 beobachtet als 0 oder umgekehrt), kann ein Ändern des Trennwertes zu Verbesserungen in manchen Gütemaßen führen. Da der Trennwert aber nicht Teil der Wahrscheinlichkeitsvorhersage ist, wird dadurch nicht das Modell verbessert, sondern nur das Ergebnis des Gütetests. Aus diesem Grund schlägt NIPPER<sup>119</sup> einen von einem Trennwert unabhängigen Gütetest vor, der allein auf dem Vergleich der Wahrscheinlichkeiten für die vorhergesagten mit den beobachteten Werten beruht. Werden diese Gütemaßwerte auf ein Maximum von 1 normiert, können sie untereinander verglichen werden (Fig. 5-2).

Präferenz	Pseudo-R-Quadrat (Nagelkerkes)	Gütemaß (Nipper)
Wohnungsnähe	0,018	0,015
Arbeitsplatznähe	Kein Modell	0,018
Agglomeration	0,014	0,010
Niedrige Preise	0,034	0,022
Hohe Qualität	0,070	0,053
Breites Sortiment	0,008	0,002
Serviceangebot	Kein Modell	0,016
Atmosphäre	0,015	0,011

Fig. 5-2: Werte des Pseudo-R-Quadrates nach Nagelkerkes (Trennwert: 0,5) und des Gütemaßes nach NIPPER (? [-8 ; 1]) für die Regressionsmodelle (5.1a-h).

<sup>119</sup> In: BAHRENBERG et al. 1992: 147-150.

Um einen Eindruck von den Ausprägungen der Präferenzen zu erhalten, stellt Fig. 5-3 einige ihrer statistischen Maßzahlen dar.

Präferenz	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Wohnungsnähe	0,6950	0,0471	$5 \cdot 10^{-14}$	0,7575
Arbeitsplatznähe	0,1100	0,0000	0,1100	0,1100
Agglomeration	0,2000	0,0252	0,1760	0,3719
Niedrige Preise	0,3147	0,0569	$3 \cdot 10^{-47}$	0,5387
Hohe Qualität	0,3638	0,0853	$2 \cdot 10^{-43}$	0,6604
Breites Sortiment	0,5764	0,0462	0,4344	0,6447
Serviceangebot	0,1300	0,0000	0,1300	0,1300
Atmosphäre	0,4084	0,0532	0,3541	0,4606

Fig. 5-3: Statistische Maßzahlen der Präferenzen. Quelle: Eigene Berechnungen nach (5.1 a-h) und (5.2) aus Befragungsergebnissen von LÖFFLER & SCHRÖDL (2002).

Aus den Mittelwerten der berechneten Präferenzen kann eine halbwegs allgemeingültige Rangfolge der Attribute abgeleitet werden. Als wichtigste Entscheidungskriterien treten demnach die Nähe des Geschäfts zum Wohnort sowie eine große Auswahl hervor. In einem Abstand folgen die Atmosphäre, die Produktqualität und erst an fünfter Stelle die Preise. Hierin könnte ein wichtiger Unterschied zum deutschen Lebensmittelmarkt vorliegen, auf dem die Preise meist als sehr viel wichtiger angesehen werden, was sich beispielsweise auch durch den größeren Markterfolg von Discountern in Deutschland äußert.

Da in den Regressionsgleichungen zur Arbeitsplatznähe und Serviceangebot nur der konstante Term als signifikant übrig geblieben ist, sind auch die entsprechenden Präferenzen für alle Individuen konstant, und ihre Standardabweichung wird Null. Die sehr kleinen Minimalwerte bei Wohnungsnähe, Preisen und Qualität treten bei Personen mit sehr hohem Einkommen auf, das deutlich außerhalb der in der Befragung vorkommenden Einkommenswerte liegt. Dass es sich dabei um Einzelfälle („Ausreißer“) handelt, lässt sich beim Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Präferenzen ablesen.

## 5.2 Operationalisierung der Angebotsseite

Die Variablen und ihre Aufbereitung der Lebensmittelgeschäfte im Untersuchungsgebiet wurden bereits im Kapitel 4.2.2 erläutert. Um nun den Konsumenten im Modell die Entscheidung für ein Geschäft zu ermöglichen, erhalten die Geschäfte ordinal skalierte Werte für die Attribute, für die die Nachfrager Präferenzen zugeordnet bekommen haben:

- Nähe zum Wohn- bzw. Arbeitsort: Da diese Größen vom Wohn- bzw. Arbeitsort des Individuums abhängig sind, kann hier keine allgemeingültige Einstufung der Geschäfte vorgenommen werden. Stattdessen ist die Distanz des Geschäfts zum Wohn- bzw. Arbeitsort des gerade einkaufenden Individuums als Attribut einzusetzen.

- Agglomeration: Hier wurde jedes Geschäft eine von fünf Stufen zugewiesen, abhängig von der Zahl weiterer Geschäfte aller Branchen im Umkreis von 150 Metern. Die fünf Stufen ergeben sich aus: Alleinlage, ein weiteres Geschäft, zwei bis vier weitere, fünf bis acht weitere und neun und mehr weitere Geschäfte im Umkreis von 150 Metern.
- Preis: Das *Handelns Utredningsinstitut* weist in einer Studie aus anderen Teilräumen Schwedens<sup>120</sup> den Geschäftstypen (wie in der Tabelle des *Konsumentverket*) ein relatives Preisniveau in sieben Stufen zu. Unter der Annahme, dass diese Ergebnisse auf das Untersuchungsgebiet übertragbar sind, konnte diese Klassifikation übernommen werden. Eine zuletzt 2004 vom Reichspensionärsverband<sup>121</sup> vorgenommene regionale Studie für einzelne Lebensmittelgeschäfte im Västerbottens Län unterstützt diese These.
- Auswahl: Offensichtlich sind Sortimentsbreite und –tiefe vornehmlich von der Größe des Geschäfts abhängig. Da die Einstufung in Geschäftstypen u.a. nach der Verkaufsfläche erfolgt, konnten hier ebenfalls sieben Sortimentsgrößenklassen für die Geschäftstypen abgeleitet werden.
- Qualität, Beratung und Atmosphäre: In einer eigenen Vollerhebung im Sommer 2004 wurden alle 132 Lebensmittelgeschäfte in der Arbeitsmarktregion Umeå bezüglich dieser drei Attribute auf einer Ordinalskala mit jeweils drei Stufen bewertet. Dabei waren für die Qualität das Vorhandensein und die Frische von Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch, für die Beratung das Vorhandensein einer stets oder zeitweise besetzten Bedienungstheke und für die Atmosphäre die Sauberkeit, Übersichtlichkeit, Breite der Verkehrsflächen im Geschäft und der Zustand der Einrichtung ausschlaggebend.<sup>122</sup>

Diese drei eher qualitativen Attribute bergen in der Erhebung, abgesehen vom hohen Aufwand, einige Risiken. Erstens sind sie grundsätzlich nicht objektiv erhebbar. Die Frage, ob ein vorhandenes Frischwarenangebot auch tatsächlich frisch ist, ist sehr von der individuellen Wahrnehmung des Erhebenden abhängig. Zweitens kann die Frische dieser Waren schon als Indikator dafür gelten, ob die Leitung eines Geschäfts auf die Frische ihrer Waren allgemein achtet. Ob die Frische von Obst, Gemüse oder Fleisch jedoch von den Konsumenten auch als ausschlaggebend für die Beurteilung der Qualität des gesamten Ladenangebots gilt, ist fraglich. Drittens ist die Inaugenscheinnahme des Frischwarenangebots eine Momentaufnahme und enthält keine Garantie auf beständige Gültigkeit. Je nachdem, ob der Filialleiter oder Geschäftsbetreiber die faulen Tomaten kurz vor der Erhebung hat entfernen lassen oder nicht, können ähnlich gut geführte Betriebe hier recht unterschiedlich abschneiden. Für die Atmosphäre eines Geschäfts gilt all dies natürlich in besonderem Maße.

Für die Verwendung der Geschäftsattribute in einem quantitativen Modell sind die nun ausschließlich (bis auf die Distanz) ordinal skalierten Variablen auf eine metrische Skala abzubilden. Zu diesem Zweck sollen für die einzelnen Attribute Funktionen entwickelt werden, die es ermöglichen, die empirischen Kenntnisse über die Geschäfte beizubehalten, und die Attribute der Einzelkriterien in metrische Skalen zu überführen, die eine optimale Umsatzschätzung ergeben.

---

<sup>120</sup> HUI 1997: 21.

<sup>121</sup> PRO 2004.

<sup>122</sup> Weitere Erläuterungen siehe Anhang 10.3.2.

## 5.3 Modellspezifikation

Die Modellspezifikationen stellen neben der Angebots- und der Nachfrageseite die dritte Säule der Simulation, die Operationalisierung des Marktes als Austauschprozess von Kaufkraft und Waren dar. Sie beinhalten die Regeln des Einkaufshandelns der Agenten.

### 5.3.1 Initiale Modellannahmen

Zu Beginn der Modellformulierung wurden zunächst aus Plausibilitätsüberlegungen einige initiale Modellannahmen getroffen, die zum Teil zu späteren Zeitpunkten aus Praktikabilitätsgründen oder aus Kenntnis über ihre negativen Auswirkungen wieder verworfen wurden. Dies betrifft eine Geschäftsvorauswahl und eine Aufteilung der Kaufkraft nach Wochen- und Vergesslichkeitsbedarf, die in diesem Abschnitt erläutert werden.

Unter der Annahme, dass die in der Region Umeå lebenden Menschen nicht alle 132 Lebensmittelgeschäfte im gleichen Raum kennen und in der Lage sind, untereinander zu bewerten, sollten die Konsumenten im Modell das Geschäft für ihren Einkauf aus einer Liste der für sie wahrnehmbaren Geschäfte auswählen. In der Geschäftsvorauswahl wird daher jedem Individuum eine Liste seiner wahrnehmbaren Geschäfte mitgeteilt. Entscheidendes Kriterium für die Aufnahme eines Geschäftes in die Liste der wahrnehmbaren Geschäfte ist seine Distanz zum Wohn- bzw. Arbeitsort des Individuums. Gehen wir zunächst vom Wohnort aus, für den Arbeitsort erfolgt die Selektion analog.

1. Alle Geschäfte werden gemäß ihrer Distanz vom Wohnort aufsteigend sortiert.
2. In die Vorauswahl kommen:
  - a. Das erste in der Sortierfolge, also das dem Wohnort nächstgelegene.
  - b. Jedes nächste aus der Sortierfolge, wenn es in mindestens einem Attribut (Preis, Qualität, etc.) besser ist, als das bisher beste Geschäft in diesem Attribut.
3. Alle weiteren Geschäfte, die 150 Meter näher oder weiter entfernt und in mindestens drei Attributen besser oder gleich gut als das gerade hinzugefügte sind („Verrauschung“, Fig. 5-3).
4. Die Listen wahrnehmbarer Geschäfte vom Wohn- und Arbeitsort eines Individuums werden vereint, so dass kein Geschäft doppelt in der resultierenden Liste enthalten ist.

Da die Koordinaten sowohl der Individuen als auch der Geschäfte nur in einem 100m-Gitter vorliegen, genügt es, diese Vorauswahl für die ca. 13.000 bewohnten Gittermaschen vorzunehmen, was gegenüber einer Berechnung für 108.000 Individuen bzw. 70.000 Familien erheblich an Rechenzeit spart.

Insbesondere der dritte Schritt (die „Verrauschung“) bedarf der Erläuterung. Wie im Kapitel 4.2.3 dargelegt, befinden sich im Untersuchungsgebiet, besonders in den Zentralen Orten des Umlands, aber auch in Shopping Centern häufig etwa gleichwertige Lebensmittel-

geschäfte in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander. Ein sich den beiden Geschäften näherer Konsument wird sicherlich beide gleichermaßen wahrnehmen, und nicht nur das aus seiner Richtung um wenige Meter nähere. Zwei benachbarte Geschäfte können in der gleichen Masche (dann ist die Distanz unter ihnen gleich Null) oder in benachbarten Maschen bzgl. des 100m-Gitters liegen. Sind sie in x- oder y-Richtung benachbart beträgt ihre Distanz 100 Meter, befinden sie sich dagegen in diagonal zueinander benachbarten Maschen, beträgt ihre (euklidische) Distanz etwa 141 Meter. Eine Distanzschranke von 150 Metern gewährleistet also, dass die Geschäfte in allen acht Nachbarmaschen eines wahrnehmbaren Geschäfts geprüft, und, sofern sie die Bedingung, in mindestens drei Attributen besser oder gleich gut zu sein, erfüllen, der Liste hinzugefügt werden (Fig. 5-4).

Aber es gibt noch eine weitere Auswirkung dieser Verrauschung: Ebenso werden alle Geschäfte zusätzlich geprüft, die in einem 300 Meter breiten Kreisring um den Wohnort des Individuums liegen. Im extremsten Fall könnte dies ein Geschäft sein, das in etwa gleicher Entfernung zum Wohnort, jedoch in genau entgegengesetzter Richtung liegt, wie das gerade hinzugefügte. Die Motivation, diesen Fall nicht einfach auszuschließen, liegt darin begründet, dass für einen Konsument, der genau zwischen zwei Geschäften wohnt, beide bezüglich des Distanzkriteriums (innerhalb der Toleranz von 300 Metern) auch gleich zu bewerten sind.

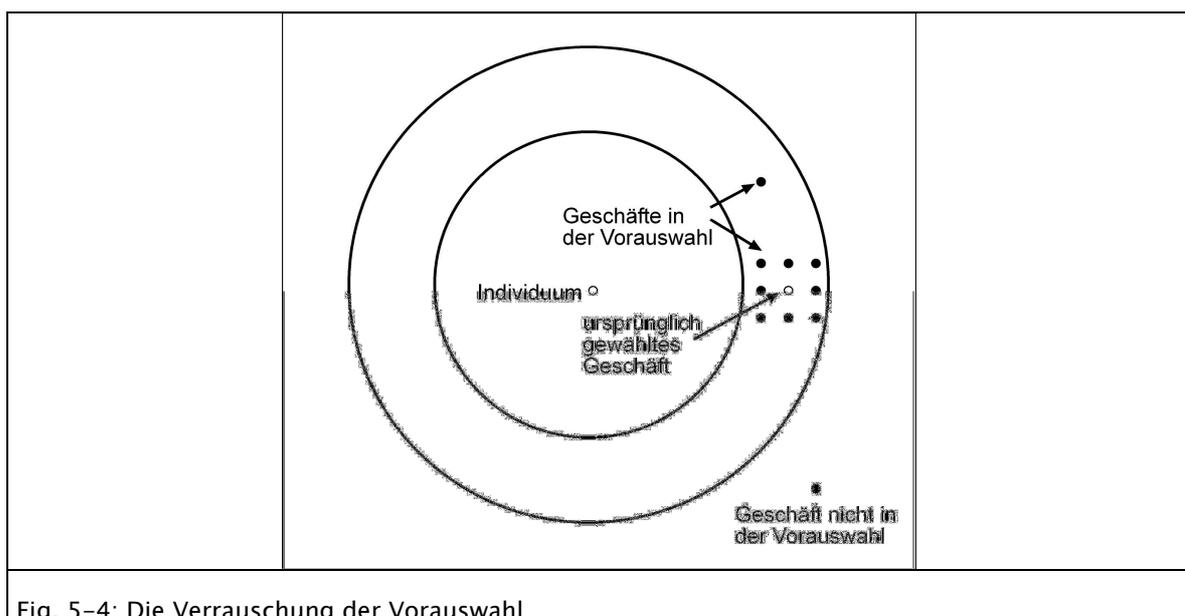


Fig. 5-4: Die Verrauschung der Vorauswahl

In Anlehnung an FOX et al. (2004) erschien es außerdem sinnvoll, den geplanten Wocheneinkauf vom ungeplanten Vergesslichkeitseinkauf zu trennen. FOX et al. argumentieren, dass die Konsumenten sich zuerst für eine Betriebsform entscheiden und anschließend für einen Ausgabebetrag. Für das zu erstellende Modell bedeutet dies die Aufteilung der wahrnehmbaren Geschäfte in solche für die Deckung des Wochen- und solche für die Deckung des Vergesslichkeitsbedarfs. Für den Wocheneinkauf wurden aus der Liste der wahrnehmbaren Geschäfte jeder Masche alle *Service-* und *Trafikbutiken*<sup>123</sup> gestrichen. Um die Wahl des Geschäfts aber so wenig wie möglich zu restringieren, sind für den Vergesslichkeitseinkauf wieder alle Geschäfte zugelassen. Ebenso ist das Einkaufsbudget aufzuteilen. Für den genau-

<sup>123</sup> Zur Erläuterung der Betriebsformate siehe Kapitel 4.3.2.

en Ausgabeanteil für Vergesslichkeitsbedarf liegen keine gesicherten empirischen Kenntnisse für das Untersuchungsgebiet vor. Jedoch kann angenommen werden, dass der Anteil im Intervall  $[0.05; 0.25]$  zu liegen kommt. Als Untergrenze dient hierbei der Umsatzanteil der *Service-* und *Trafikbutiken* an der Gesamtkaufkraft der Region, als Obergrenze der Umsatzanteil der Geschäfte unter  $400 \text{ m}^2$  Verkaufsfläche.

### 5.3.2 Modellierung der Nachfrage–Angebot–Interaktionen

Jedes Individuum kann nun Geschäfte durch Kombination seiner Präferenzen und der Geschäftsattribute bewerten. In diskreten Entscheidungsmodellen (*Discrete Choice*) berechnet sich der Gesamtnutzen  $W_{i,g}$  einer Entscheidungsalternative meist als die Summe der Einzelnutzen, die sich wiederum aus den Ausprägungen der Geschäftsattribute  $A_{g,K}$  und der individuellen Präferenz  $P_{i,K}$  für jedes Kriterium  $K$  ergibt. Wird die Distanz zwischen der Position des Individuums und des Geschäfts  $d_{i,g}$  mit in die Entscheidung einbezogen, tritt sie als nutzenmindernder Faktor auf:

$$W_{i,g} = \frac{1}{d_{i,g}} \sum_K P_{i,K} A_{g,K} \quad (5.4a)$$

mit  $K$ : Kriterium,  $d_{i,g}$ : Distanz zwischen Individuum und Geschäft,  $P_i$ : Präferenz des Individuums,  $A_g$ : Attribut des Geschäfts

In dieser Linearkombination wird also das Attribut jedes Kriteriums des betrachteten Geschäfts mit der individuellen Präferenz im selben Kriterium gewichtet. Zwar ist unstrittig, dass die Teilnutzenwerte alle positiv zum Gesamtnutzen beitragen sollten, jedoch liegen für ihre additive Verknüpfung bislang weder eine theoretische Fundierung noch empirische Erkenntnisse vor. In der Mikroökonomie gibt es auch Hinweise darauf, dass Teilnutzenwerte multiplikativ zu verknüpfen seien. Um als Gewichte zu wirken, müssen die Präferenzen dann in den Exponenten gestellt werden<sup>124</sup> (5.4b). Ebenfalls nicht auszuschließen ist, dass für einzelne Kriterien unterschiedliche Verknüpfungen in Frage kommen (5.4c).

$$W_{i,g} = \frac{1}{d_{i,g}} \prod_K A_{g,K}^{P_{i,K}} \quad (5.4b)$$

$$W_{i,g} = \frac{1}{d_{i,g}} \prod_{K_1} A_{g,K_1}^{P_{i,K_1}} \circ \sum_{K_2} P_{i,K_2} * A_{g,K_2}; \quad K_1 \cap K_2 = \emptyset \quad (5.4c)$$

Notation wie in (5.4a).

---

<sup>124</sup> Siehe auch Kapitel 6.1

Weiterhin ist anzunehmen, dass die Attribute der Geschäfte von den Konsumenten nicht mit ihren empirisch gemessenen Werten wahrgenommen werden, sondern durch Funktionen in andere Skalen überführt werden. Diese Überführungen sind für alle möglichen Kombinationen von Verknüpfungsformen gleichermaßen einführbar:

$$W_{i,g} = \frac{1}{\mathbf{b}(d_{i,g})} \sum_K P_{i,K} \mathbf{a}_K(A_{g,K}) \quad (5.4d)$$

bzw.

$$W_{i,g} = \frac{1}{\mathbf{b}(d_{i,g})} \prod_K \mathbf{a}_K(A_{g,K})^{P_{i,K}} \quad (5.4e)$$

bzw.

$$W_{i,g} = \frac{1}{\mathbf{b}(d_{i,g})} \prod_{K_1} \mathbf{a}_{K_1}(A_{g,K_1})^{P_{i,K_1}} \circ \sum_{K_2} P_{i,K_2} * \mathbf{a}_{K_2}(A_{g,K_2}); \quad K_1 \cap K_2 = \emptyset \quad (5.4f)$$

mit  $K$ : Kriterium,  $d_{ig}$ : Distanz zwischen Individuum und Geschäft,  $P_i$ : Präferenz des Individuums,  $A_g$ : Attribut des Geschäfts,  $\mathbf{a}_K, \mathbf{b}$ : Wahrnehmungsfunktionen

Für die genauen Gewichte der Kriterien untereinander fehlen gesicherte empirische Kenntnisse. Zwar liegen einige Untersuchungen<sup>125</sup> vor, die meist Sortiment, Distanz, ‚Image‘/Werbung, und Preise als wichtigste Kriterien beim Lebensmitteleinkauf nennen, deren Ergebnisse aber keinen quantifizierten Vergleich erlauben. Lediglich Ergebnisse von OPPEWAL et al. (1997: 1082)<sup>126</sup> könnten hier einen Anhaltspunkt geben, ihre Übertragung auf den Untersuchungsraum ist jedoch fraglich. Deshalb wird vorgezogen, die Wahrnehmungsfunktionen selbst zu bestimmen<sup>127</sup>.

Da beim Kauf von Lebensmitteln die Familie als Konsumeinheit zu betrachten ist, wird zuerst ein Familienmitglied (Individuum mit Familien ID der betrachteten Familie) zufällig ausgewählt, den Einkauf stellvertretend für seine Familie zu tätigen. Dieses Individuum überträgt einen gemäß der Geschäftsbewertung berechneten Anteil des jährlichen Lebensmittelbudgets seiner Familie auf das entsprechende Geschäft, der dort der Umsatzsumme aufgeschlagen wird. Durch die Verteilung des Lebensmittelbudgets auf alle Geschäfte (ggf. eingeschränkt durch eine Vorauswahl) wird die Mehrfaktororientierung der Einkaufsentscheidungen abgebildet.

<sup>125</sup> FORSBERG 1998, FOTHERINGHAM & TREW 1993, FOTHERINGHAM et al. 2001, FOX et al. 2004, O’KELLY 1999.

<sup>126</sup> Zur Diskussion dieser Ergebnisse siehe Kapitel 2.3.

<sup>127</sup> Siehe Kapitel 5.5

## 5.4 Umsetzung des Modells in der Simulation

### 5.4.1 Das Simulationsshell SeSAM

Das eingesetzte Simulationsshell SeSAM<sup>128</sup> wurde von einer Arbeitsgruppe am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, Institut für Informatik der Universität Würzburg als Entwicklungsumgebung für Multiagentensimulationen realisiert. Mit einer Fülle von bereits verfügbaren Funktionen (Primitiven) und der Möglichkeit, benutzerdefinierte Funktionen und Datentypen hinzuzufügen, bietet SeSAM die Flexibilität einer objektorientierten Programmiersprache, wobei der Umgang mit der Syntax durch die graphische Benutzeroberfläche stark vereinfacht ist. An dieser Stelle sollte in einem kleinen Exkurs in die objektorientierte Programmierung eingeführt werden.

Objektorientierte Programmierung unterscheidet sich von herkömmlicher vor allem durch die Verwaltung und Ansprache von Daten (Variablen) und Funktionen. Während in konventioneller Programmierung jede Variable nur einmal vorkommen darf, wird jetzt jede Variable einer Objektklasse zugewiesen. Wir wollen uns das an einem Beispiel verdeutlichen und eine Objektklasse ‚Auto‘ definieren. Diese Objektklasse könnte beispielsweise die Variablen ‚Hersteller‘, ‚Zahl der Türen‘, ‚Farbe‘ usw. besitzen. Jedes einzelne vorkommende Auto, als Objektinstanz bezeichnet, führt nun alle Variablen und Eigenschaften seiner Objektklasse mit (man sagt, es erbt diese) und hat Werte für sie gespeichert, z.B.: Objektinstanz 1 mit Hersteller=’Ford‘, Zahl der Türen=3, Farbe=’rot‘; Objektinstanz 2 mit Hersteller=’Renault‘, Zahl der Türen=5, Farbe=’silbern‘. Möchte man eine dieser Variablen nun verändern, weil sich der Halter des Renaults entschließt, sein Auto umlackieren zu lassen, muss zum Zugriff auf den entsprechenden Variablenwert neben der Bezeichnung der Variable auch die Bezeichnung der Objektinstanz genannt werden. Damit kommt diese Form der Programmierung der Idee der Multiagentensimulation sehr entgegen, denn sie bietet die Möglichkeit, einzelne Agenten als Instanzen einer Objektklasse aufzufassen, denen eine Menge von Merkmalen (Variablen) gemeinsam ist, für die sie aber unterschiedliche Ausprägungen besitzen, auf die wiederum individuell zugegriffen werden kann.

Ein zweites Kennzeichen der objektorientierten Programmierung ist die ausschließliche Steuerung des Programmablaufs über Funktionen. Als Funktion bezeichnet man einen Teilalgorithmus, den man aus Zwecken der Übersichtlichkeit oder weil man ihn häufiger benutzt, aus dem eigentlichen Programmablauf auslagert. Funktionen besitzen Eingabe- und Ausgabeparameter (Argumente), die der Funktion übergeben, darin verarbeitet und zurückgegeben werden. Der Funktionsaufruf zur Änderung der Farbe des Renaults aus dem obigen Beispiel könnte etwa so aussehen: SetVariableOf(Farbe,“grün“,Autoinstanz2). Zuerst wird der Name der Funktion genannt, in den Klammern folgen dann als Argumente der Name der zu ändernden Variable, ihr neuer Wert und die Objektinstanz, auf dessen Variable zugegriffen werden soll.

SeSAM unterscheidet drei Arten von Objektklassen: Ressourcen, Agenten und die Welt. Allen Objektklassen kann eine Menge von Zustandsvariablen zugeordnet werden, die Agenten und die Welt besitzen zusätzlich einen Aktivitätsgraph. An den Knoten dieses Graphen können über eine Abfolge von Funktionsaufrufen die Werte der Zustandsvariablen verändert werden. In der gleichen Entwicklungsumgebung werden aber auch die Situationen

---

<sup>128</sup> [www.simsesam.de](http://www.simsesam.de) und KLÜGL 2001.

und ihre geometrische Repräsentation definiert, in denen die Simulationsexperimente ausgeführt werden. Darüber hinaus stehen Analysetools zur Verfolgung der Simulationsergebnisse am Bildschirm zur Laufzeit zur Verfügung, sowie Funktionen zum Import und Export von Daten in ein gängiges Tabellenformat (CSV). Durch zusätzliche Plugins können weitere Funktionalitäten hinzugefügt werden.

## 5.4.2 Implementierung der Modellakteure als Agenten

Akteure des Einkaufsmodells sind die Konsumenten. Da jedoch die Familien als Konsumeinheiten zu betrachten sind, werden sie auch als die Agenten der Simulation modelliert. Als Variablen besitzen sie alle familienbezogenen Merkmale wie ihre Größe, Einkommen, Koordinaten des Wohnortes, sowie einen Vektor, der die individuenbezogenen Merkmale der Familienmitglieder enthält. Der Aktivitätsgraph der Familien beinhaltet alle notwendigen Aktionen zur Berechnung der individuellen Präferenzen aus ihren sozioökonomischen Daten und der Geschäftsbewertung. Die Geschäfte sind als Ressourcen mit ihren Attributen und sonstigen Merkmalen als Variablen geführt, da ihnen (zumindest im Entwicklungsstadium des Modells) kein eigenes Verhalten zugestanden wird. Eine weitere Ressourcenklasse ist die der Maschen. Sie beinhalten die räumliche Information des 100-Meter-Gitters mit Ost- und Nordkoordinaten, und einer Liste der bei ihnen verorteten Geschäfte und Familien. Auch die Individuen bilden eine Ressourcenklasse, jedoch nur aus technischen Gründen. Sie werden nach dem Einlesen aus einer Tabelle und dem Hinzufügen zum Individuenvektor ihrer Familien wieder aus der Situation gelöscht, um Speicherplatz zu sparen. Eingebettet sind alle Objektinstanzen in eine Welt. Sie verwaltet alle global benötigten Variablen, wie etwa die Gütemaße, ihr Aktivitätsgraph nimmt übergreifende Funktionalitäten auf, wie etwa das Einlesen der Konsumentendaten, ihre Positionierung in der Situation und die Berechnung der Gütemaße nach Ende der Simulation.

## 5.4.3 Schritte der Simulation

Hier werden nun die Aktionen in den sieben Schritten (Knoten der Aktivitätsgraphen der Welt und der Agenten) der Simulation dargestellt.

1. **Welt:** Zuerst wird die Raumsituation in ihre geometrische Repräsentation überführt. Dazu sind einige Koordinatentransformationen notwendig, so verwendet SeSAM die linke obere Ecke des Raumausschnitts als Ursprung, das nationale schwedische Koordinatensystem, auf den sich die Koordinaten der Familien und Geschäfte beziehen, hat jedoch die linke untere Ecke als Bezugspunkt. Anschließend werden die Maschen- und Geschäftsobjekte an ihre SeSAM-interne Position gesetzt. Neben einem Koordinatenpaar eine Objektposition vorzuhalten, erleichtert später die Distanzberechnung, da dafür Funktionen im SeSAM vorliegen, die als Argumente Positionen und nicht Koordinaten verlangen. Zusätzlich wird den Geschäften noch die Mascheninstanz, in der sie positioniert werden, mitgeteilt, und umgekehrt erhalten die Maschen eine Liste der in ihnen positionierten Geschäfte.

2. **Welt:** Hier findet die Vorauswahl der Geschäfte statt, die für jede Masche vorgenommen wird. Diese lässt sich wahlweise auch abschalten, so dass die Agenten alle Geschäfte wahrnehmen können.
3. **Welt:** Nun werden die Familien und Individuen eingelesen. Der Funktionsaufruf `CreateObjectsFromCSV` verweist auf eine Definitionsdatei, die neben dem Pfad zu der entsprechenden Tabelle eine Zuweisung der Spaltenüberschriften zu den Variablennamen der Familien und Individuen enthält. Die Familien werden anschließend in einer Hash Table<sup>129</sup> gespeichert.
4. **Welt:** Die in Schritt 3 eingelesenen Individuen werden nun über ihre gemeinsame Familien ID ihren Familien zugeordnet und ihre Daten in den Vektor der Familienmitglieder geschrieben.
5. **Welt:** Nachdem die Individuen den Familien zugewiesen und ihre Informationen dort gespeichert worden sind, können sie jetzt zum Sparen von Speicherplatz aus der Situation gelöscht werden.  
**Familie:** Dies ist gleichzeitig der erste Knoten des Familienaktivitätsgraphen. Analog zu den Geschäften in Schritt 1 werden auch die Familien an die Position ihrer Masche verschoben.
6. **Familie:** Anschließend berechnen die Individuen einer jeden Familie ihre individuellen Einkaufspräferenzen gemäß den Gleichungen (5.1a-h).
7. **Familie:** Die Familie wählt aus ihren Mitgliedern zufällig eines aus, das stellvertretend für sie den Lebensmitteleinkauf tätigen soll. Dieses Individuum bewertet alle Geschäfte gemäß einer der Gleichung (5.4a-f) und verteilt das Lebensmittelbudget im Verhältnis dieser Bewertung anteilig auf die Umsätze der Geschäfte.  
**Welt:** Danach werden die so geschätzten Umsätze aller Geschäfte mit deren realen Umsätzen verglichen und die Gütemaße nach den Gleichungen (5.5a-c) berechnet.

---

<sup>129</sup> Hash Tables sind eine intelligente Form der Speicherung, die vor allem bei großen Datenmengen zur Anwendung kommt. Ihr großer Vorteil besteht im schnellen Zugriff auf die Daten, indem sie als Speicheradresse die ID des Datensatzes selbst benutzen. Statt also viele Speicheradressen nach dem angeforderten Datensatz zu durchsuchen, muss in einer Hash Table nur an einer bestimmten Stelle gesucht werden.

## 5.5 Sensitivitätsanalyse und Abgleich mit der Empirie

*„A little speculation and a willingness to make mistakes is a necessary though not sufficient ingredient for the predictive scientist [...] Perhaps historians of our discipline will look back on the last few decades and say that we erred not in making mistakes, but not in having the courage to make nearly enough.“<sup>130</sup>*

Für die Bewertung des Modells ist zunächst das Ziel der Simulation zu formulieren. Dies ist in Kapitel 1.1 bereits geschehen, dort heißt es: „Modellierung und Simulation von Interaktionsströmen von Personen und Kapital zwischen Elementen der Nachfrage (den Konsumenten) und des Angebots (den Geschäften)“. Um die Erreichung des Ziels zu bewerten, ist ein Ergebnisvergleich mit empirischen Erkenntnissen anzustellen, der im günstigsten Fall auch quantitativ erfassbar ist. Nur damit ist es möglich, beim Einsatz des Modells zu Planungszwecken eine Eintrittswahrscheinlichkeit für Prognosen anzugeben. Dazu wird im folgenden Kapitel (5.5.1) ein Gütemaß definiert, das eine Richtung für Schritte zur Modellverbesserung angibt und mit dem sich dann auch die Auswirkungen der Verbesserungsversuche untereinander vergleichen lassen. Im Zusammenhang mit einem Modell für menschliches Handeln wird man für dieses Vorgehen ungern den Term ‚Kalibrierung‘ verwenden. Wenn man sich jedoch vor Augen hält, dass es nicht darum geht, Menschen und ihr Handeln zu ‚kalibrieren‘, sondern lediglich mit einem Modell demselbigen möglichst nahe zu kommen, sollte der Term ohne schlechten Beigeschmack verwendet werden dürfen. Auch um weitere rhetorische Verbiegungen zu vermeiden, wird dies im Folgenden so geschehen.

Mit dem vorliegenden Modell werden Einkaufswege von Individuen, den Agenten, simuliert. Idealerweise sollten Modelle für räumliche Interaktionen mit der Realität dieser Interaktionen verglichen werden. Leider sind die individuellen Interaktionsmuster der Bevölkerung einer ganzen Region kaum erhebbbar, weshalb der Ergebnisvergleich auf zwei Standbeine gestellt wird. Einerseits können die in der Simulation (durchschnittlich) von den Agenten bei den Geschäften als Umsatz allozierten Geldbeträge mit deren tatsächlichen Umsätzen verglichen werden (Kap. 5.5.3 bis 5.5.5). Damit wird die Umsatzschätzung als das emergente Ziel der Simulation festgelegt. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass eine unbekannte Zahl von Interaktionsmustern zu identischen Umsatzverteilungen auf die Geschäfte führen kann. Unabhängig von der Qualität der Umsatzschätzung bleibt dem Modellierer dabei die Qualität der Interaktionssimulation verborgen. Aus diesem Grund wird als zweites Standbein die Perspektive der Agenten eingenommen und deren räumliche Interaktionsmuster Plausibilitätsprüfungen unterzogen (Kap. 5.5.6). Dies kann auch durch den Vergleich mit Mobilitätsdaten geschehen.<sup>131</sup>

---

<sup>130</sup> HAGGET 1994: 18.

<sup>131</sup> Siehe Kap. 7.2.

### 5.5.1 Vergleich mit der Empirie und Festlegung eines Gütemaßes

Um die Rechenzeit für die Kalibrierungsschritte zu reduzieren, wurde aus den Familien- und Individualdaten (getrennt nach den Kommunen der Arbeitsmarktregion Umeå) eine 1%-Stichprobe gezogen. Nach jedem Kalibrierungsschritt wurden die gefundenen optimalen Parameterwerte zusätzlich an den Daten aus der Vollerhebung getestet und nur beibehalten, falls das Gütemaß sich gegenüber der Stichprobe nicht verschlechterte.

Im Folgenden unterstellen wir ein geschlossenes System, die Summe der Geschäftsumsätze und die Summe der zur Verfügung stehenden Kaufkraft (jeweils für Lebensmittel und auf das Untersuchungsgebiet bezogen) sind gleich, mit anderen Worten, es finden keine Kaufkraftzu- oder -abflüsse statt. Tatsächlich liegt jedoch die Lebensmittelkaufkraft im Untersuchungsgebiet etwa 15% höher als die Summe der Lebensmittelumsätze. Als Gründe hierfür sind empirische Unsicherheiten bei der Schätzung des Ausgabeanteils für Lebensmittel sowie bei den Umsatzangaben der Geschäfte (Umsatzklassen vs. exakte Angabe, Umsatz aus Lebensmitteln vs. täglichen Waren) zu nennen. Eine andere Quelle<sup>132</sup> weist für das Untersuchungsgebiet eine um lediglich 6% höhere Umsatzsumme im Einzelhandel mit täglichen Waren aus. Für die Simulation wurden alle Geschäftsumsätze um 15% erhöht.

Zur Beurteilung der Schätzgüte des Modells wurde ein Gütemaß festgelegt, das in Anlehnung an die Varianz eines Schätzverfahrens die quadratischen Abweichungen der geschätzten von den realen Umsätzen misst:

$$R^{(2)} = 1 - \frac{\sum_g (U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g})^2}{\sum_g U_{\text{real},g}^2} \quad (5.5a)$$

mit  $U_{\text{geschätzt},g}$ : geschätzter Umsatz des Geschäfts  $g$ ,  $U_{\text{real},g}$ : realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts  $g$ ;  $R^{(2)} \in ]-\infty; 1]$

Alternativ können auch die unquadratischen Abweichungen gemessen werden, der Wert des Gütemaßes gibt dann direkt Auskunft über den prozentualen Anteil des erklärten Umsatzes (5.5b):

$$R^{(1)} = 1 - \frac{\sum_g |U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g}|}{\sum_g U_{\text{real},g}} \quad (5.5b)$$

mit  $U_{\text{geschätzt},g}$ : geschätzter Umsatz des Geschäfts  $g$ ,  $U_{\text{real},g}$ : realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts  $g$ ;  $R \in ]-\infty; 1]$

---

<sup>132</sup> HUI 1999: 117.

Je nach Zielsetzung besitzen diese beiden Gütemaße ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Das Gütemaß  $R^{(2)}$  (5.5a) misst die quadratischen Abweichungen der geschätzten von den realen Geschäftsumsätzen und lehnt sich stark an die Formulierung der Varianz an. Dabei werden Geschäfte mit hohem Umsatz eindeutig bevorzugt, was durchaus im Sinne des Modells sein kann, möchte man einen möglichst großen Anteil der Kaufkraft im Untersuchungsgebiet richtig zuordnen. Sollen alle Abweichungen unabhängig von Größe der Schätzwerte gleichbehandelt werden, empfiehlt sich die Verwendung eines Maximum-Likelihood-Gütemaßes  $R^{(ML)}$  (5.5c).

$$R^{(ML)} = 1 - \sum_g \frac{(U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g})^2}{U_{\text{real},g}^2} \quad (5.5c)$$

mit  $U_{\text{geschätzt},g}$ : geschätzter Umsatz des Geschäfts  $g$ ,  $U_{\text{real},g}$ : realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts  $g$ ;  $R \in ]-\infty; 1]$

Alle Gütemaße sind nach oben beschränkt. Werden alle Geschäftsumsätze genau getroffen, wird  $R$  gleich 1,00. Ein Gütemaß von Null bedeutet eine Über- oder Unterschätzung um den einfachen realen Umsatzbetrag. Wird das Gütemaß negativ, wurde der Umsatz sogar um ein Mehrfaches des realen Wertes falsch geschätzt. Diese Fehlschätzungen können aber nur Überschätzungen sein, da kein Geschäft einen negativen Umsatz zugeschrieben bekommen kann. Neben einem globalen Gütemaß, das die Umsatzabweichungen aller Geschäfte misst, kann man auch Teilgütemaße für Gruppen von Geschäften (z.B. nach Umsatzklassen, Raumtypen, Betriebsformaten, etc.) betrachten. Diese Teilmaße erleichtern vor allem die Generierung von weiteren Hypothesen zum Einkaufshandeln, wenn die Fehlschätzungen nicht alle Geschäfte gleichermaßen betreffen.

## 5.5.2 Herausforderungen bei der Kalibrierung

Bevor man nun an die Kalibrierung des Modells herangeht, sollten einige grundsätzliche Überlegungen angestellt werden, welchen Beschränkungen ein solches Vorhaben aufgrund der Datensituation und den Modellannahmen unterliegt. Diese werden im Folgenden für die einzelnen Kalibrierungsschritte getrennt erläutert. Generell werden den Geschäften vom Modell Geldsummen (Kaufkraftanteile) gemäß einer der Bewertungsfunktionen (5.4a-f) zugeordnet. Die Höhe dieser Kaufkraftanteile ist somit direkt von den Ausprägungen der dort eingehenden Parameter bzw. Parameterkombinationen abhängig. Die Ergebnisse der Bewertungsfunktion teilen die Geschäfte in Äquivalenzklassen ein, das heißt, von der Funktion gleich bewertete Geschäfte erhalten den gleichen Kaufkraftanteil zugewiesen. Die Zahl der Äquivalenzklassen entspricht dabei der Mächtigkeit der Wertemengen der Parameter und ihrer Kombinationen. Die Genauigkeit der Umsatzschätzung (Wert des Gütemaßes) ist also abhängig von der Zahl der Werte, die die Bewertungsfunktion annehmen kann. Eine zweite Einschränkung betrifft die Reihenfolge der Geschäfte in der Umsatz- und Äquivalenzklassensortierung. Durch die Funktion besser bewertete Geschäfte erhalten vom Modell auch höhere Umsätze zugewiesen. Nun ist aber nicht gesagt, dass vom Modell besser bewertete Geschäfte auch in der Realität höhere Umsätze erwirtschaftet haben; um Zirkelschlüsse zu vermeiden, kann das auch nicht Modellvoraussetzung sein.

Lässt man etwa nur das Geschäftsattribut ‚Preis‘ als Bewertung zu, ohne Berücksichtigung der Distanz oder individueller Präferenzen, so vereinfacht sich jede der Gleichungen (5.4a-f) zu:

$$W_g = A_{g,\text{Preis}} \quad (5.6)$$

Da sieben Preisniveaus unterschieden werden<sup>133</sup>, teilt (5.6) die Geschäfte in sieben Äquivalenzklassen ein, und sie bekommen sieben unterschiedliche Umsatzwerte zugewiesen. Je besser ein Geschäft im Preiskriterium eingestuft war, desto höher wird nun sein Umsatz geschätzt. Natürlich ist recht schnell einsichtig, dass ein Geschäft mit niedrigeren Preisen nicht unbedingt auch mehr umsetzt, und auch sind die realen Umsatzwerte sehr viel heterogener. Dies gilt ebenso für die anderen Geschäftsattribute und kann als Indiz dafür gesehen werden, dass mehr als nur eines von ihnen in den Entscheidungsprozess einfließen müssen, um diesen adäquat abzubilden.

Wie bereits oben dargestellt und im Kapitel 6.1 noch ausführlich erläutert wird, stellt sich bei der Verwendung mehrerer Entscheidungskriterien die Frage nach ihrer mathematischen Verknüpfung. Die Verwendung von Multiplikation oder Addition wirkt sich dabei auf die Skala des Bewertungsergebnisses aus: Die Summe zweier linearer Skalen ist wiederum linear, ihr Produkt weist jedoch einen exponentiellen Verlauf auf. Die maximale Zahl der Äquivalenzklassen errechnet sich als das Produkt derer der Einzelattribute, ob diese Zahl jedoch tatsächlich zustande kommt, hängt wegen des Kommutativgesetzes von den Ausprägungen der Attribute ab (Fig. 5-5). Generell kann die tatsächliche Zahl der Äquivalenzklassen nicht größer sein als die Zahl der betrachteten Geschäfte (132).

Attribute (Kurzbezeichnung)	Zahl der Äquivalenzklassen	
	Maximal möglich	Durch Verknüpfung tatsächlich möglich
Preis (Pr)	7	-
Sortiment (S)	7	-
Qualität (Q)	3	-
Beratung (B)	3	-
Atmosphäre (At)	3	-
Agglomeration (Ag)	5	-
Pr, S	49	8
Pr, Q	21	14
Pr, Q, S	147	16
Pr, Q, S, B	441	28
Pr, Q, B, At	189	47
Pr, Q, B, At, Ag	945	79
Pr, Q, S, B, At, Ag	6.615	83

Fig. 5-5: Anzahl der Äquivalenzklassen der Geschäfte bei der Verknüpfung von Kriterien. Die maximal mögliche Zahl bezieht sich auf die möglichen Kombinationen der Attributwerte, diese sind jedoch durch die Zahl der Geschäfte (132) nach oben beschränkt.

<sup>133</sup> Siehe Kapitel 5.2.

Zunächst gilt es, festzuhalten, dass für die im Kapitel 5.2 festgelegten Skalen für die Geschäftsattribute die Zahl der Äquivalenzklassen unabhängig von der Verknüpfungsart ist. Aus Fig. 5-5 wird aber auch deutlich, dass etwa die Hinzunahme der Größe ‚Sortiment‘ gegenüber dem Preis nur eine weitere Äquivalenzklasse schafft, hier sind also kaum Verbesserungen in der Vorhersagegüte zu erwarten. Erst wenn viele Attribute einfließen, kommt die Zahl der Äquivalenzklassen der der Geschäfte näher. Dies ist aber nicht unbedingt ein Garant für eine höhere Modellgüte.

Bis hier wurde nur die Rolle der strukturellen Teilnutzen (Geschäftsattribute) in der Bewertungsfunktion betrachtet. Fließt mit der Distanz auch eine relationale Nutzenkomponente – sinnigerweise nutzenmindernd – in die Bewertung ein, wächst die Wertemenge der Bewertungsfunktion beträchtlich, im Fall einer kontinuierlichen Distanzmessung sogar ins Unendliche. Da hier Koordinaten aber nur auf 100 Meter genau vorliegen, bleibt auch die Distanz eine diskrete Größe. Mit diesem Schritt hat sich aber auch die Modellkomplexität deutlich erhöht, denn nun sind Geschäfte mit gleichen Attributen nicht mehr für alle simulierten Konsumenten gleich, sondern unterscheiden sich durch den Distanzaufwand, der in Abhängigkeit von der Position des Agenten für die Versorgung zu leisten ist. Haben  $m$  Geschäfte höchstens  $m$  verschiedene Ausprägungen ihrer strukturellen Nutzenkomponenten, ergeben sich für  $n$  diskrete Raumstellen  $([n^2/2] - n)$  Ausprägungen. Das Modell ist also von der Schätzung von 132 Geschäftsumsätzen auf die Schätzung von Kaufkraftströmen übergegangen, die von jeder der ca. 12.500 diskreten Positionen auf die 132 Geschäfte gerichtet sind, in der Summe also etwa 1,65 Millionen.

Der nächste Schritt besteht in der Erweiterung des Modells um haushalts- bzw. individuenbezogene Merkmale, die Präferenzen, womit die Zahl der zu schätzenden Kaufkraftströme nun von der Zahl der Agenten abhängt, im Untersuchungsgebiet somit  $70.000 \cdot 132 = 9,24$  Millionen. Diese großen Zahlen wirken zwar imposant, sind aber nicht die eigentliche Herausforderung der Modellkalibrierung. Diese wäre ohne große Schwierigkeiten möglich, ließen sich die simulierten Interaktionen mit der Realität vergleichen. Zum Realitätsvergleich und zur Kalibrierung stehen aber nur die erwirtschafteten Geschäftsumsätze im Untersuchungsjahr zur Verfügung, die sich den Randsummen der kaufkraftgewichteten Interaktionsmatrix gegenüberstellen lassen. Auch wenn das Vorhandensein einer verlässlichen Zielgröße für die Kalibrierung sehr begrüßenswert und keineswegs selbstverständlich ist, liegt hier der Grund für die hohe Zahl an Freiheitsgraden des Modells. Insbesondere kann eine unbekannte Zahl von Interaktionsmustern zu identischen Umsatzverteilungen bei den Geschäften führen. Eine (im Sinne eines hohen Gütemaßwertes) gute Umsatzschätzung der Geschäfte basiert also nicht zwangsläufig auf plausiblen Einzelinteraktionen der simulierten Konsumenten.

Eine weitere Herausforderung für die Kalibrierung offenbart sich bei der Vorauswahl. Auch wenn es inhaltlich sehr plausibel erscheint, dass die Agenten nicht alle Geschäfte im Untersuchungsgebiet wahrnehmen können, stellt die Restriktivität dieser Auswahl die Verfahren zur Parameterkalibrierung vor erhebliche Probleme: Je nach Standort des Agenten können die Vorauswahlen sehr unterschiedlich ausfallen, etwa mit einer Mehrzahl an strukturell relativ hoch oder niedrig eingestuftem Geschäften, oder eher heterogen, was die Suche nach global gültigen Parametern, etwa für Attributgewichte oder Wahrnehmungsfunktionen stark erschwert. Aus diesem Grund wurden in den folgenden Experimenten auch jeweils Versuche ohne Vorauswahl durchgeführt, deren Ergebnisse je nach Attributskalierung und -verknüpfung unterschiedlich ausfallen, jedoch nicht generell schlechter als die mit Vorauswahl. Diese Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt erläutert. Alternativ besteht später die Möglichkeit, eine Selektion über die Parameterwahl für die Wahrnehmungsfunktionen

vorzunehmen. Dabei werden Geschäfte für einzelne Agenten nicht vor der Bewertung ausgeschlossen, sondern durch diese vernachlässigbar mit Kaufkraft bedacht.

### 5.5.3 Die Geschäftsattribute im Entscheidungsprozess

Setzt man die in Kapitel 5.2 festgelegten Attributwerte als Einzelattraktivität nach (5.6) ein, ohne Hinzunahme von Individualattributen wie Präferenzen oder der Distanz, erhält man Aufschluss über die maximal zu erreichenden Gütemaße unter der angenommenen Einteilung der Geschäfte (Fig. 5-6). Diese Experimente zeigen, dass der Beitrag der einzelnen Kriterien zur Erklärung des Geschäftsumsatzes sehr unterschiedlich ist. Leider ist der Grund dafür nur bedingt inhaltlicher Art, die Gütemaßwerte hängen stark von der Zahl der Attributsklassen ab (Preis und Sortiment sieben, Agglomeration fünf, die übrigen nur drei): Je weniger Geschäfte in einer Attributsklasse sind, desto genauer kann ihr realer Umsatz durch den Klassenmittelwert geschätzt werden. Experimente haben gezeigt, dass mit steigender Klassenzahl auch die Gütemaßwerte größer werden. Stimmt die Zahl der Attributsklassen mit der der Geschäfte überein, ist jeder Klassenmittelwert des Umsatzes gleich dem Realumsatz, somit liegt das Gütemaß bei 1. Auf diese Weise war auch GÜSSEFELDT (2002) zu einer überragenden Schätzgüte gelangt. Ebenso wird deutlich, dass die Güte der Umsatzschätzung natürlich davon abhängt, ob die Rangfolge der Geschäfte bezüglich ihrer Äquivalenzklassen mit der bezüglich ihres Umsatzes übereinstimmt. Ein Geschäft, das bezüglich seiner Attributwerte besser ist als ein anderes, wird von den Agenten auch vermehrt aufgesucht und in der Simulation eine höhere Kaufkraft auf sich vereinen können. Ist der tatsächliche Umsatz dieses Geschäfts jedoch niedriger, führt dies zu systematischen Fehlschätzungen.

Dieser Effekt kann verdeutlicht werden, indem in solchen Fällen die Sortierung der Geschäfte an den Umsatz angepasst wird, mithin die empirisch gemessenen Geschäftsattribute so verfälscht werden, dass sich die Rangfolge zugunsten der Umsatzwerte verändert (umsatzorientierte Rangfolge). Ein Vergleich der Gütemaßwerte in den beiden Fällen liefert Fig. 5-6). Bis auf eine Ausnahme ( $R^{(1)}$  bei Agglomeration) sind die Gütemaßwerte stets höher als für die empirisch ermittelte Rangfolge. Das Einschalten eine Vorauswahl (nach Kap. 5.3.1) wirkt sich schon bei den sonst wichtigsten Kriterien negativ auf das Gütemaß aus, so dass hier auf weitere Versuchsreihen verzichtet wurde.

Attribut (Kurzbez.)	Umsatzorientierte Rangfolge		Rangfolge gemäß empirisch ermittelter Attributwerte		
	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$ unter Vorauswahl
Preis (Pr)	0,921	0,647	0,826	0,567	0,435
Sortiment (S)	0,924	0,641	0,885	0,579	0,517
Qualität (Q)	0,349	0,225	entfällt	entfällt	0,591
Beratung (B)	0,313	0,190	entfällt	entfällt	k.A.
Atmosphäre (At)	0,280	0,107	entfällt	entfällt	k.A.
Agglomeration (Ag)	0,340	0,135	0,338	0,143	k.A.

Fig. 5-6: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verwendung von Einzelkriterien als Geschäftsattraktivität (ohne Vorauswahl, außer falls anders angegeben). Bei den Kriterien Qualität, Beratung und Atmosphäre sind die umsatzorientierte und empirische Rangfolge der Geschäfte identisch.

Mit Abstand die höchsten Gütemaßwerte werden erreicht, wenn die Agenten die Geschäfte mit dem Kriterium ‚Preis‘ oder ‚Sortiment‘ bewerten, alle anderen liegen deutlich darunter und unterscheiden sich untereinander nur wenig. Beide Kriterien sind stark größenabhängig, eignen sich also besonders gut zur Umsatzschätzung und werden deshalb auch in Makromodellen vielfach als einzige Attraktivitätskomponente verwendet. Ein Mikroansatz, der individuelle Entscheidungen nach- und nicht nur kollektives Verhalten abbilden soll, bietet jedoch die Möglichkeit, erstens mehrere Teilnutzen gleichzeitig zu berücksichtigen und zweitens gerade die eher qualitativen Kriterien in diesen Prozess einzubeziehen.

Dazu sind die Kriterien zu einer kombinierten Geschäftsattraktivität zu verknüpfen, wobei sie sich gegenseitig ergänzen, jedoch mit recht unterschiedlichen Auswirkungen, auch in Abhängigkeit von der Verknüpfungsform (Fig. 5-7).

Summe	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	Produkt	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$
Pr+S	0,924	0,654	Pr*S	-4,058	0,101
Pr+Q	0,458	0,283	Pr*Q	0,855	0,535
Pr+Q+S	0,540	0,327	Pr*Q*S	-5,250	0,054
Pr+Q+S+B	0,487	0,306	Pr*Q*B	0,614	0,362
Pr+Q+S+B+At	0,424	0,246	Pr*Q*B*At	0,441	0,251
Pr+Q+S+B+At+Ag	0,427	0,246	Pr*Q*B*At*Ag	0,122	0,208
<b>Kombinationen von Verknüpfungsformen</b>					
Pr*Q+S	0,855	0,536	(Pr+S)*Q	0,859	0,542

Fig. 5-7: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verknüpfung von Einzelkriterien zu kombinierter Geschäftsattraktivität (umsatzorientierte Rangfolge, ohne Vorauswahl).

Die Addition der Geschäftsattribute zu einem Gesamtnutzen lässt das Gütemaß Werte annehmen, die zwischen denen der Einzelattribute liegen. Bei Multiplikation verstärken sich die Attribute gegenseitig stark, ihre Skalen verformen sich zu exponentiellen Verläufen. Auswirkung davon kann sein, dass die Verwendung von Preisniveau und Sortiment, die einzeln am besten für die Umsatzschätzung dienen, nun zu einer Überschätzung der Umsätze der in beiden Kriterien hoch eingestuften Geschäfte führt. Selbstverständlich ist auch eine Kombination von Verknüpfungsformen denkbar, wie in der letzten Zeile von Fig. 5-7 dargestellt. Da es bei einer Multiagentensimulation darum geht, individuelle Entscheidungen nachzubilden, ist spätestens jetzt die Frage zu stellen, wie denn die simulierten Konsumenten die Teilnutzen gedanklich verknüpfen. Offensichtlich ist, dass ein Geschäft, das eine höhere Produktqualität erwarten lässt, trotz höherer Preise attraktiv erscheinen kann. Ebenso werden Konsumenten in der Erwartung niedrigerer Preise auch weniger Qualität in Kauf nehmen. Über die Art der Verknüpfung fehlen jedoch jegliche theoretische oder empirische Kenntnisse. Allerdings wird intuitiv häufig von einem „Preis-Leistungs-Verhältnis“ ausgegangen, was am ehesten einer multiplikativen Verknüpfung des Preis- mit dem Qualitätskriterium entspricht. Zusätzliche Einflüsse wie Atmosphäre oder Auswahl könnten dann additiv einbezogen werden.

*Discrete Choice* Modelle verwenden zumeist additive Nutzenkombinationen, jedoch ohne eine theoretisch fundierte Begründung dafür liefern zu können. Man könnte also die Verknüpfung wählen, die am besten für das Problem geeignet ist (d.h. die die höchsten Gü-

temaßwerte aufweist), oder die die Integration weiterer Nutzenkomponenten oder Modellannahmen (Präferenzen, Wahrnehmungsfunktionen) am leichtesten ermöglicht. Hier ist die Addition deutlich vorzuziehen: In einem Produkt müssten Präferenzen nach (5.4b) im Exponenten stehen und wären damit nur noch schwer als Gewichte für die Geschäftsattribute interpretierbar. Für den Entwurf von Wahrnehmungsfunktionen ist ebenfalls die Summe vorzuziehen, da dadurch die gewählten Funktionsfamilien für die Einzelnutzen nicht verändert werden: Multiplikativ verknüpfte Funktionen werden stets exponentiellen Verläufen ähnlich.

### 5.5.4 Distanzen und Präferenzen: Individualisierung des Modells

Im nächsten Schritt wird die Distanz zwischen den Agenten und den Geschäften als relationale Nutzenkomponente und damit sowohl umsatzunabhängige als auch individuenbezogene Größe in die Bewertung einbezogen. Ist sie geeignet normiert, kann die Distanz als Kehrwert oder invers als Attraktivitätsmindernde Größe auftreten. Diese Experimentreihe schloss auch eine Geschäftsbewertung durch die Distanz alleine ein (Fig. 5-8).

Attributkombination	Ohne Vorauswahl		Mit Vorauswahl	
	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$
1/d	0,291	0,089	k.A.	k.A.
1-d	0,262	0,012	k.A.	k.A.
Pr/d	0,897	0,601	0,756	0,465
S/d	0,904	0,604	0,753	0,466
Pr*(1-d)	0,914	0,622	k.A.	k.A.
S*(1-d)	0,918	0,619	k.A.	k.A.
(Pr+S)/d	0,902	0,608	k.A.	k.A.
(Pr+S)*(1-d)	0,917	0,628	k.A.	k.A.
(Pr+Q+S)/d	0,640	0,404	0,737	0,438
(Pr+Q+S+B)/d	0,576	0,391	k.A.	k.A.

Fig. 5-8: Maximal erreichbare Gütemaßwerte bei Verknüpfung von Einzelkriterien mit der Distanz.

Die Distanz alleine kann kaum als Explanand für Geschäftsumsätze dienen. Es zeigt sich recht deutlich, dass erst die Einbindung struktureller Nutzenkomponenten zu annehmbaren Schätzgütern führt. Allerdings wird auch ersichtlich, wie bereits oben als Herausforderung formuliert, dass die durch die Einbindung solcher relationaler Teilnutzen erhöhte Modellkomplexität Einbußen im Gütemaß zur Folge hat. Auch hier ist die Frage nach der Verknüpfung der Distanz mit der Bewertung durch die Geschäftsattribute zu stellen. Als Summand wirkt sie mindernd auf den Gesamtnutzen, als inverser Faktor oder Divisor mindert sie den Nutzen einer jeden (additiven) Komponente. Auch hier sucht man vergeblich nach einer theoretischen Fundierung, die über die Feststellung einer Nutzenminderung durch erhöhten Distanzaufwand hinausgeht. Einzelnen Experimenten dieser Reihe wurde auch eine Geschäftsvorauswahl vorgeschaltet, die gegenüber den Versuchen ohne Distanz (Fig. 5-7) deutlich weniger reduzierend auf die Gütemaßwerte wirkte. Die Restriktivität der Vorauswahl lässt sich dabei besonders an zwei Sachverhalten verdeutlichen: Erstens an den durch sie deutlich reduzierten Spannweiten der Gütemaßwerte, ohne Vorauswahl schwanken diese

stärker. Zweitens wird bereits durch die Vorauswahl alleine – ohne weitere Bewertung der Geschäfte – ein Gütemaß ( $R^{(2)}$ ) von 0,63 erreicht. Der Anteil der strukturellen Merkmale, an den durch Parameteroptimierung die größten Erwartungen für die Kalibrierung zu knüpfen sind, ist also eher gering. Dies lässt auch für eine Steigerung der Schätzgüte gegen Eins unter den Bedingungen der Vorauswahl nur geringen Spielraum erwarten.

Die Einbindung der Distanz bedeutet noch keine Individualisierung im engeren Sinn, handelt es sich beim 100m-Gitter der vorliegenden Koordinaten doch nur um diskrete Raumstellen, die auch mehreren Agenten gemeinsam sein können. Erst die Präferenzen, die sich nach (5.1a-h) und (5.2) aus individuellen und familienbezogenen Merkmalen berechnen, lassen das Modell die detaillierteste Stufe der Mikroebene einnehmen. Die Präferenzen haben die Aufgabe, eine individuenbezogene Gewichtung der Geschäftsattribute untereinander vorzunehmen, ihre Einbindung ist dabei von der gewählten Verknüpfungsart (5.4a, b) abhängig. Werden nur Einzelkriterien nach (5.6) verwendet, verformt die zugehörige Präferenz als Exponent deren Skala. Durch die Präferenzen wird die Modellkomplexität nochmals gesteigert, folglich ist wie bei der Distanz mit Einbußen im Gütemaß zu rechnen. Dies trat aber nicht in allen Fällen auf, wie in Fig. 5-9 abzulesen ist.

Attributkombination	Ohne Präferenzen		Mit Präferenzen	
	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$	$R^{(2)}$	$R^{(1)}$
Pr*	0,431	k.A.	0,558	k.A.
S*	0,517	k.A.	0,543	k.A.
Pr/d*	0,756	0,465	0,285	0,214
S/d*	0,753	0,466	0,249	0,224
Q/d*	0,723	0,443	0,073	0,209
Pr+S	0,924	0,654	0,924	0,625
Pr+Q	0,458	0,283	0,432	0,268
Pr+Q+S	0,540	0,327	0,484	0,296
(Pr+Q+S)/d	0,640	0,404	0,582	0,368
(Pr+Q+S+B)/d	0,576	0,391	0,565	0,372

Fig. 5-9: Vergleich von Gütemaßwerten bei Experimenten mit und ohne Präferenzen. Mit \* gekennzeichnete Simulationsläufe beinhalteten eine Geschäftsvorauswahl (nach Kap. 5.3.1).

## 5.5.5 Wahrnehmungsfunktionen

### 5.5.5.1 Einführung und Wahl der Funktionsform

Die Überlegung, die Geschäftsattribute zusätzlich mit Wahrnehmungsfunktionen zu überziehen, folgt der Hypothese, dass die aus Untersuchungen und eigenen Erhebungen abgeleiteten Attributwerte Irrtümern unterliegen könnten, oder von den Konsumenten, deren Handeln modelliert wird, in anderer Weise wahrgenommen werden. Wenn es zudem möglich ist, die Parameter dieser Funktionen automatisiert zu suchen, kann hier das Optimierungspotenzial im Sinne einer möglichst genauen Umsatzschätzung am weitesten ausgeschöpft werden. Nach Betrachtung der vorangegangenen Ergebnisse wurden diese Versuche lediglich mit den drei einflussreichsten Attributen Preis, Qualität und Sortiment durchgeführt. Die Bewer-

tungsfunktion für die Agenten ändert sich von (5.4a) in (5.4d). Zur Verdeutlichung sei letztere Gleichung hier noch einmal wiederholt:

$$W_{i,g} = \frac{1}{\mathbf{b}(d_{i,g})} \sum_K P_{i,K} \mathbf{a}_K(A_{g,K}) \quad (5.7)$$

mit  $K$ : Kriterium,  $d_{ig}$ : Distanz zwischen Individuum und Geschäft,  $P_i$ : Präferenz des Individuums,  $A_g$ : Attribut des Geschäfts,  $\mathbf{a}_K, \mathbf{b}$ : Wahrnehmungsfunktionen

Dafür stellt sich zuerst die Frage nach der Wahl einer Funktionsfamilie. Lineare, exponentielle und logistische Funktionen haben bestimmte Eigenschaften, die sich auf die derart transformierten Attributwerte übertragen. Eine lineare Wahrnehmungsfunktion würde etwa die Skala der Attributwerte lediglich proportional ‚strecken‘. Exponentielle Funktionen sorgen dafür, dass das Wachstum der Attributwerte ‚nach rechts‘ auf der Skala immer größer wird, logistische Funktionen vergrößern die Abstände der Attributwerte in der Mitte der Skala. Neu aufgeworfen werden muss in diesem Zusammenhang auch die Frage der Kriterienverknüpfung, die nun durch die Verknüpfung von Funktionen erweitert wird. Bei einer Addition behalten die Funktionen die Eigenschaften ihrer Familie bei, werden sie jedoch multipliziert, kann sich ihre Familie ändern. Das Produkt zweier linearer Funktionen etwa ergibt eine Exponentialfunktion. Werden Wahrnehmungsfunktionen verwendet, erscheint also eine Addition praktikabler.

Da keinerlei empirische Kenntnisse darüber vorliegen, ob und mit welchen Eigenschaften Konsumenten Geschäftsattribute verzerrt wahrnehmen, tritt keine genannte Funktionsfamilie mit deutlichen Vorteilen hervor. Aus formaler Sicht bieten jedoch die logistischen Funktionen Vorteile, da sie sich durch die Einstellung ihrer Parameter an lineare und exponentielle Funktionen annähern lassen. Logistische Funktionen besitzen drei Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  und haben die Form:

$$f(x) = \frac{10^a}{1 + 10^b * e^{-cx}} \quad (5.8)$$

Fig. 5-10 zeigt den graphischen Verlauf einer logistischen Funktion. Der Parameter  $a$  legt das Maximum der Wertemenge fest, an das sich der Kurvenverlauf asymptotisch annähert. Mit dem Parameter  $b$  lässt sich der Wendepunkt der Funktion parallel zur x-Achse verschieben. Der Parameter  $c$  bestimmt schließlich die Steigung am Wendepunkt. Jetzt wird auch die leichte Wandelbarkeit dieser Funktionsfamilie deutlich: Ist  $a$  sehr groß und  $c$  sehr klein, wird der Kurvenverlauf nahezu linear, sind hingegen  $b$  und  $c$  sehr groß, wird der Kurvenverlauf zumindest ‚links‘ des Wendepunkts exponentiell. Mit einer vergleichsweise geringen Anzahl Parameter eröffnen sich also viele Variationsmöglichkeiten. Nachteilig könnte sich auswirken, dass die Kurvenverläufe in Bezug auf den Wendepunkt symmetrisch sind, was wiederum eine Annahme ohne empirische Untermauerung darstellt. Für die erwähnten drei Geschäftsattribute wären also je eine Wahrnehmungsfunktion mit je drei Parametern zu finden. Ein automatisiertes Verfahren hierzu hätte also neun Parameter simultan einzustellen.

Eine sukzessive Parametereinstellung für die einzelnen Geschäftsattribute könnte evtl. günstigere Parameterkonstellationen ungerechtfertigterweise ausschließen.

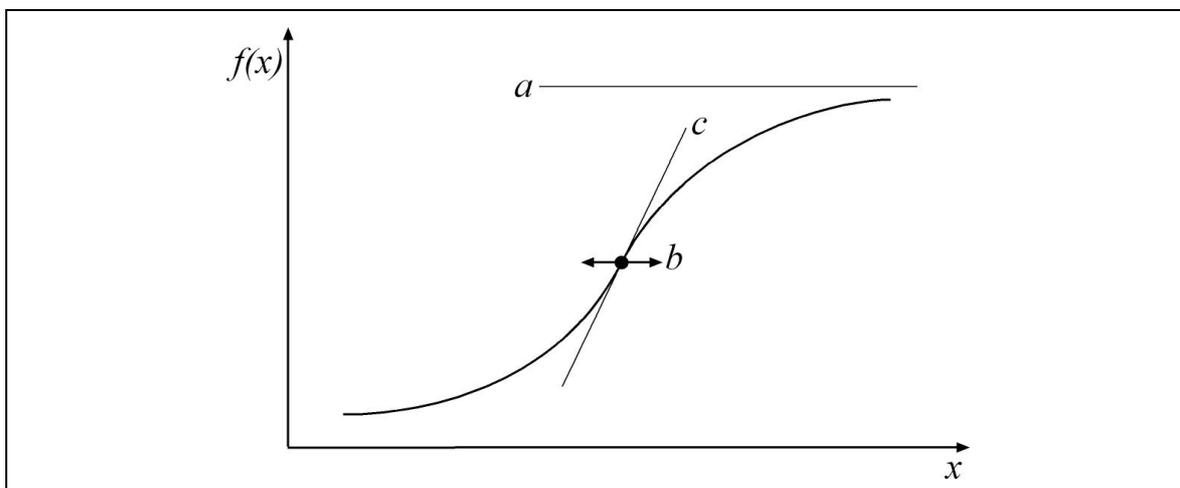


Fig. 5-10: Verlauf einer logistischen Funktion mit den Aufgaben der Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$ .

### 5.5.5.2 Ein automatisiertes Verfahren zur Parameterbestimmung

Das verwendete automatisierte Verfahren wird als „*Simulated Annealing*“ (dt.: „Simulierte Abkühlung“) bezeichnet und sei hier kurz vorgestellt. Das Verfahren zieht eine Parallele zu einem Phänomen aus den Materialwissenschaften. Wenn Stoffe abkühlen und vom flüssigen in einen festen Aggregatzustand übergehen, ordnen sich die Atome in ihrem Innern so an, dass sie einen möglichst geringen Energiezustand erreichen. Geht die Abkühlung sehr schnell vonstatten, bleibt den Atomen nur wenig Zeit, diesen Zustand geringster Energie zu finden, und das abgekühlte und feste Material neigt zu inneren Spannungen, die es instabil machen. Bei einer kontrollierten Abkühlung wird das Material während des Prozesses immer wieder kurz erhitzt, um den Atomen Gelegenheit zu geben, ihre Lage und ihren Energiezustand noch einmal zu ändern, so dass das Gesamtsystem insgesamt in einen sehr niedrigen Energiezustand kommt.

Diese Vorgänge werden nun auf das Vorhaben einer Parametereinstellung übertragen. Statt der Atome und ihrer Zustände werden nun die Parameter und ihre Werte betrachtet. Der energetische Zustand des Gesamtsystems wird durch die Berechnung einer Bewertungsfunktion aus den Parameterwerten bestimmt. Dazu kann etwa das oben definierte Gütemaß der Umsatzschätzung (5.5) dienen. Berechnet wird nun eine Wahrscheinlichkeit  $P(e, e', T)$ , dass die Parameter ihre Werte von einem Zustand  $s$  in einen Zustand  $s'$  ändern, die von den Energieniveaus (Wert des Gütemaßes)  $e$  und  $e'$  in diesen Zuständen und von einem globalen Parameter  $T$ , der Temperatur genannt wird, abhängt. Man legt die zugehörige Funktion so an, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Parameteränderung hoch ist, wenn auch die Temperatur einen großen Wert annimmt. Gleichzeitig sollte bei konstanter Temperatur die Wahrscheinlichkeit, vom Zustand  $s$  in den Zustand  $s'$  zu wechseln, größer sein, falls  $e > e'$ , der neue Zustand also energetisch günstiger ist, als im Fall  $e < e'$ . Entscheidend ist jedoch, dass die Wahrscheinlichkeit für den zweiten Fall nie Null wird. Damit wird dem System erlaubt,

auch energetisch schlechtere Zustände wieder anzunehmen (erneutes Anheizen) und aus so genannten lokalen Optima wieder herauszufinden. Im Verlauf des Optimierungsalgorithmus wird die Temperatur schrittweise abgesenkt, so dass die Parameterzustände sich zu Beginn eher zufällig ändern und die Änderungsmöglichkeiten mit der Zeit immer weiter eingeschränkt werden. Damit eignet sich dieses Verfahren besonders bei großen Suchräumen, in denen viele lokale Optima vermutet werden.

Kritisch ist der benötigte Zeitaufwand für das Verfahren. Zwar kann mathematisch gezeigt werden, dass nach unendlicher Zeit das globale Optimum sicher gefunden wird, in realen Anwendungen möchte man aber im Allgemeinen nicht so lange warten. Die Frage, wie viel Zeit das Verfahren benötigt, um mit einer genügend großen Wahrscheinlichkeit ein befriedigendes Ergebnis zu liefern, ist nicht allgemein zu beantworten. Außerdem ist diese Zeitdauer auch von der Komplexität des Systems selbst abhängig, das heißt von der Zeit, die benötigt wird, um eine gefundene Parameterkonstellation zu bewerten, also das Gütemaß zu berechnen. In einer Simulation mit mehreren Hundert oder gar Tausend Agenten kann auch dieser Zeitaufwand erheblich ins Gewicht fallen.

### 5.5.5.3 Globale und individuelle Wahrnehmungsfunktionen

Ein solches *Simulated-Annealing*-Verfahren wurde in das Simulationsmodell integriert, und damit Werte für die Parameter der drei Wahrnehmungsfunktionen für die Geschäftsattribute Preis, Qualität und Sortiment bestimmt, jedoch noch ohne Berücksichtigung der Distanz.<sup>134</sup> Hierbei ergaben sich die in Fig. 5-11 wiedergegebenen Parameterwerte. Als Gütemaßwerte wurden 0,920 (quadratisch, 5.5a) und 0,625 (absolut, 5.5b) erreicht, was eine Steigerung gegenüber den vorherigen Experimenten (Fig. 5-8, 5-9) darstellt.

Parameter	Preis	Qualität	Sortiment
a	3,000	3,000	1,462
b	4,988	13,836	1,837
c	1,626	0,8333	2,210

Fig. 5-11: Gefundene Parameterwerte für die drei Wahrnehmungsfunktionen.

Während das Preisattribut damit einer beachtenswerten Variation unterliegt, wurde der Einfluss des Qualitätsattributs stark abgeschwächt. Hier wird der Wendepunkt der Funktion durch den hohen Wert des Funktionsparameters  $b$  weit nach rechts verschoben, gleichzeitig ist die Steigung, bestimmt durch den Parameter  $c$ , dort sehr gering. Dieses Ergebnis ist konsistent mit den vorherigen Experimenten ohne Wahrnehmungsfunktionen, in denen das Qualitätsattribut auch nur geringen Beitrag zur Umsatzschätzung leistete. Dem Sortiment werden nur im unteren Segment starke Unterschiede zugemessen. Dies lässt sich inhaltlich so deuten, dass Sortimentsunterschiede vor allem bei kleineren Läden ins Gewicht fallen, ab einer gewissen Sortimentsgröße aber nicht mehr ausschlaggebend für die Geschäftswahl ist.

Da das herausragende Merkmal des vorliegenden Modells seine Orientierung an individuellen Entscheidungen ist, und kein Grund besteht, anzunehmen, dass, wenn die Skalen der

<sup>134</sup> Die Berechnungen dafür wurden durch die Kooperationspartner am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz im Institut für Informatik, namentlich von Manuel Fehler, durchgeführt.

Geschäftsattribute von den Konsumenten verzerrt wahrgenommen werden, diese Wahrnehmungsunterschiede homogen sind, liegt es nahe, diese Wahrnehmungsverzerrungen durch Funktionen ebenfalls zu individualisieren. Nun für jeden Agenten Funktionen mit insgesamt neun Parametern aufzustellen und diese zentral einzustellen, überfordert jeden Optimierungsalgorithmus. Stattdessen bietet sich an, wiederum den dezentralen Charakter des Multiagentenansatzes zu nutzen, und die Agenten ihre Geschäftswahrnehmungen selbst einstellen zu lassen. Statt dafür Wahrnehmungsfunktionen mit den Geschäftsattributen als Eingabe zu verwenden, soll nun jeder Agent genau einen Bewertungswert so einstellen, dass der Geschäftsumsatz optimal reproduziert wird. Um hierbei nicht in einen Zirkelschluss zu verfallen, in dem der Umsatz sowohl erklärende als auch erklärte Größe wird, wurde als Randbedingung formuliert, dass dabei die Geschäftsattribute trotzdem korrekt wiedergespiegelt werden müssen. Die Agenten dürfen also ihre Bewertungen nur soweit ändern, dass sich die Bewertungsreihenfolge, die sich aus den Geschäftsattributen aus Sicht der Agenten ergibt, nicht ändert. Die Agenten versuchen also, jeder möglichst viel zu einer optimalen Umsatzschätzung beizutragen, jedoch ohne den empirisch gemessenen Attributen zu widersprechen.

Das Ergebnis dieser Optimierung kann als maximal mögliche Qualität der Umsatzschätzung unter der Annahme der erhobenen Geschäftseigenschaften interpretiert werden. Jedoch konnten durch diese Maßnahmen keine nennenswerten Steigerungen in den Gütemaßen der Umsatzschätzung mehr erreicht werden, da sie zu beträchtlichen Unterschätzungen kleinerer Geschäfte im Ländlichen Raum führten. Dies konnte durch eine Einschränkung des Aktionsradius der Agenten auf die nächsten 12 Geschäfte zwar ausgeglichen werden, wie einzelne Folgeexperimente zeigten. Aus Angebotssicht entstehen dadurch aber sehr kompakte Marktgebiete, was besonders für die großflächigeren Formate und Geschäfte in der Stadt Umeå unrealistisch erscheint. Hier lagen für Einwohner der Wohngebiete Mariehem und Ålidhem die Innenstadtgeschäfte bereits außerhalb dieser definierten Reichweite.

#### 5.5.5.4 Der Sonderfall der Distanz

Die Vermutung von Wahrnehmungsverzerrungen seitens der Konsumenten betrifft natürlich nicht nur die Geschäftsattribute, sondern auch das Merkmal der Distanz. Insbesondere wurde erwartet, dass Einwohner verschiedene Raumtypen auch unterschiedliche Affinitäten gegenüber Distanzüberwindung zum Zweck der Grundversorgung besitzen. Weiterhin werden Modelle der Einkaufsstättenwahl häufig dafür kritisiert, dass sie ausschließlich Einkaufsfahrten vom Wohnort aus modellieren, indem sie nur jene Distanz einbeziehen, obwohl sich durch die gesellschaftlichen Veränderungen in den letzten Jahrzehnten, vor allem bedingt durch einen gestiegenen Anteil von Frauen in der Erwerbstätigkeit, der Anteil nicht wohnortbezogener Einkaufsfahrten erhöht hat.<sup>135</sup> Da in den verfügbaren Daten neben den Koordinaten der Wohnung auch die des Arbeitsplatzes für jedes Individuum verfügbar waren (Fig. 4-2), konnten zwei Fälle unterschieden werden:

1. Das betrachtete Individuum ist nicht erwerbstätig: Unter der Annahme, dass in diesem Fall die Einkaufsfahrt vom Wohnort aus unternommen wird, wird die Distanz zwischen Wohnort und Geschäft verwendet.
2. Das betrachtete Individuum ist erwerbstätig: In diesem Fall wird angenommen, dass der Einkauf mit dem Arbeitsweg gekoppelt wird. Geschäfte sind nun bezüglich des Distanzkriteriums sinnigerweise mit dem zusätzlich zu tätigen

---

<sup>135</sup> ARENTZE & TIMMERMANS 2005a: 1.

Distanzaufwand, der durch den Umweg zum Geschäft auf dem Weg zur oder von der Arbeitsstelle entsteht, zu bewerten:

$$d_U = d_{WG} + d_{AG} - d_{WA} \quad (5.9)$$

Mit:  $d_U$ : ‚Umwegdistanz‘ zum Geschäft auf dem Arbeitsweg;  $d_{WG}$ : Distanz zwischen Wohnort und Geschäft;  $d_{AG}$ : Distanz zwischen Arbeitsstelle und Geschäft;  $d_{WA}$ : Distanz zwischen Wohnort und Arbeitsstelle.

Generell verwendet das Modell Luftliniendistanzen. Diese haben bei der gegebenen Komplexität des Modells und den großen Datenmengen den Vorteil, dass sie sich sehr schnell mit dem Satz des Pythagoras aus den Differenzen der Koordinatenwerte zweier Positionen berechnen lassen. Natürlich wäre die Verwendung von Straßendistanzen wünschenswert, ließ sich aber nicht mit vertretbarem Aufwand (Zuordnung der Koordinatenpaare zu Adressen, Positionieren dieser auf den Kanten eines Straßengraphen) realisieren.

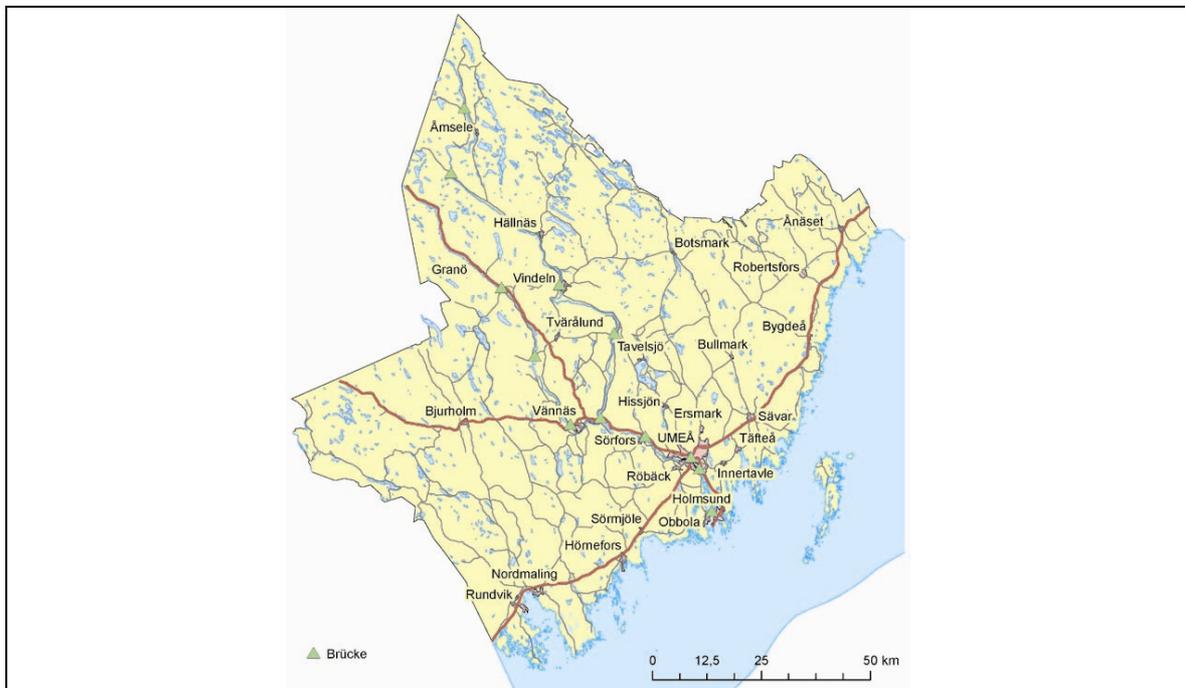


Fig. 5-12: Standorte der Brücken über die Flüsse Umeälv und Vindelälv.

Um nicht in die allzu schlichte Annahme einer homogenen Ebene zu verfallen, wurde dennoch eine topographische Besonderheit berücksichtigt. Das Untersuchungsgebiet wird von zwei Flüssen, dem Umeälv und dem Vindelälv, in drei Sektoren zerschnitten. In einer solch peripheren Region mit relativ dünn angelegter Straßeninfrastruktur sind auch Brücken nicht besonders zahlreich (Fig. 5-12). Alle Distanzen zwischen Punkten in unterschiedlichen Sektoren wurden als kürzest mögliche Distanzen über die jeweils nötige Anzahl von Brücken berechnet. Zwischen zwei benachbarten Sektoren ist nur eine Brücke zu überqueren, von Bjurholm nach Botsmark führt der kürzeste Weg beispielsweise über zwei Brücken.

Bezüglich der Distanzwahrnehmung wurden zunächst ebenfalls Versuche mit einer logistischen Wahrnehmungsfunktion (5.8, Fig. 5-10) unternommen. Die automatisierte Parameterbestimmung führte zu einer Minimierung des Distanzeinflusses auf die Einkaufsstättenwahl bis zur Vernachlässigbarkeit. Dieses Resultat ist sehr überraschend, und es muss die Frage gestellt werden, ob es sich dabei um ein Artefakt des Optimierungsalgorithmus handeln könnte. Hier fällt auf, dass das Distanzkriterium im Gegensatz zu den vorher behandelten Geschäftsattributen das einzige ist, das in Bezug auf die Agenten heterogen ist. Die Geschäftsattribute Preis, Qualität und Sortiment waren aus Sicht aller Agenten gleich und wurden erst nach der Verformung durch ihre Wahrnehmungsfunktionen mit den individuellen Präferenzen gewichtet (5.7). Die Distanz zu einem Geschäft ist jedoch für jeden Agenten unterschiedlich. Aus umgekehrter Perspektive gesehen: Angenommen, ein Agent betrachtet zwei Geschäfte, die aufgrund ihrer Attribute und ihres Umsatzes vergleichbar sind, sich jedoch in unterschiedlicher Entfernung von ihm befinden. Ist die Güte der Umsatzschätzung die einzige Zielgröße, wird ein Optimierungsalgorithmus versuchen, beiden Geschäften einen identischen Kaufkraftbetrag zuzuweisen, was nur durch Minimierung des Einflusses desjenigen Kriteriums, in dem sich die Geschäfte aus der Sicht des Agenten unterscheiden, in diesem Fall der Distanz, gelingt.

Eine zweite Begründung für ein solches Artefakt könnte die Überlegung sein, dass die Distanz für die Bewohner der Region, eventuell nach der Raumkategorie ihres Wohnortes, sehr unterschiedlich wichtig ist und somit nicht mit einer homogenen Wahrnehmungsfunktion für alle Agenten beschreibbar ist. Diese Vermutung legen auch die Darstellungen in Fig. 4-11 und 4-12a & b nahe, die die sehr unterschiedlichen Versorgungsgrade und Erreichbarkeiten von Lebensmittelgeschäften in der Region aufzeigen. Während für weite Teile des Ländlichen Raums Entfernungen zum nächsten Angebotsort von mehr als 10 Kilometern keine Seltenheit sind, befindet sich für Einwohner der Stadt Umeå schon die Mehrheit aller Geschäfte innerhalb einer solchen Entfernung.

Diesem Umstand könnte mit einer diskret oder kontinuierlich veränderbaren Wahrnehmungsfunktion für die Distanz Rechnung getragen werden. Für den diskreten Fall müssten zwei oder mehr Raumkategorien gebildet werden, für die Wahrnehmungsfunktionen mit jeweils unterschiedlichen Parametern gefunden werden müssten. Eine solche Zonierung ist jedoch mit spezifischen Problemen behaftet. Selbst abgesehen von den Schwierigkeiten einer Grenzziehung zwischen ‚Stadt‘ und ‚Land‘ führen jegliche diskrete Aufteilungen zu Artefakten bei der Parametereinstellung, wie schon OPENSHAW (1977) und OPENSHAW & TAYLOR (1979) zeigen konnten. Zu erwägen wäre aber die Lösung einer kontinuierlich veränderbaren Wahrnehmungsfunktion für die Distanz. Nimmt man etwa an, dass die Distanzempfindlichkeit beim Lebensmitteleinkauf mit abnehmender Entfernung des Wohnorts zum Stadtzentrum aufgrund der dort höheren Versorgungsdichte steigt, müsste dafür eine logistische Wahrnehmungsfunktion mit verschiebbarem Wendepunkt zum Einsatz kommen. Wie oben bereits erwähnt, kann die Lage des Wendepunkts durch Änderung des Parameters  $b$  der Funktionsgleichung (5.8) beeinflusst werden. Problematisch wirkt sich hier jedoch aus, dass nun eine weitere Funktion für den Parameter  $b$  definiert werden muss, die wiederum einzu stellende Parameter besitzt, von denen aber nicht vorausgesetzt werden kann, dass sie von den beiden anderen Parametern der Distanzwahrnehmungsfunktion unabhängig sind. Stattdessen wurde daher nach einem anderen Weg gesucht, die unterschiedliche Ausstattungsdichte mit Einzelhandelsangebot in den Distanzterm zu integrieren.

Dies gelingt mit einer Umstellung der Distanzskala auf eine ordinale Metrik. Dabei wird die tatsächliche Entfernung durch den Rangplatz in der Distanzsortierung der Geschäfte ersetzt. Das nächstgelegene Geschäft wird dadurch bezüglich des Distanzkriteriums stets

gleich bewertet, unbeschadet dessen, wie weit es tatsächlich entfernt ist. In etwas weiterer Entfernung kann etwa das 10. erreichbare Geschäft bezüglich des Distanzkriteriums keine unterschiedliche Bewertung je nach Angebotsdichte in der Umgebung des Agenten mehr erhalten. Das folgende Kapitel wird demonstrieren, dass dadurch wesentlich plausiblere Bewegungen der Agenten auf ihren Einkaufswegen entstehen. Auch hier ergeben sich jedoch zwei Hindernisse:

1. Wird dieser Distanzrangplatz in einer Bewertungsfunktion wie in (5.7) als Nenner eingesetzt, wird dadurch eine Annahme einer quantifizierbaren Beziehung bezüglich des Distanzkriteriums zwischen den Entscheidungsalternativen getroffen: Das zweite Geschäft ist dadurch halb so attraktiv wie das erste, das dritte  $2/3$  so attraktiv wie das zweite usw.
2. Sind zwei Geschäfte gleich weit entfernt, entscheidet der Zufall, welche Rangplätze ihnen zugewiesen werden. Dieser Umstand konnte durch Zuteilung der gleichen Rangplattzahl sofort behoben werden.

Die Einführung der ordinalen Distanzskalierung hatte lediglich geringfügige ( $<0,05$ ) Auswirkungen auf die Gütemaßwerte der Umsatzschätzung, jedoch ließen sich die Einkaufsfahrten einzelner Agenten dadurch um einiges plausibler abbilden, wie im folgenden Kapitel gezeigt wird.

### 5.5.6 Einkaufsbiographien

Der Multiagentenansatz erlaubt durch seine konsequente Ausrichtung an individuellen Entscheidungen, eine Ergebnisbewertung auch aus der Sicht einzelner Agenten vorzunehmen. In Anlehnung an Bevölkerungssimulationen soll diese Vorgehensweise hier als das Betrachten von Biographien bezeichnet werden. Zur Analyse wurden willkürlich acht real existierende Personen aus unterschiedlichen Raumkategorien ausgewählt (Fig. 5-13), deren simulierte räumliche Einkaufsmuster in den folgenden Abschnitten dargestellt werden: Drei Bewohner im Ländlichen Raum, davon einer in einem Zentralen Ort, drei Pendler, die zwar ihren Wohnort im Ländlichen oder Suburbanen Raum, ihren Arbeitsplatz jedoch in der Stadt Umeå haben, und zwei Stadtbewohner, davon einer nicht erwerbstätig.

Kategorie	Wohnort	Arbeitsort	Alter	Geschl.	Präferenzen		
					Preis	Qualität	Sortiment
LR	Västeråker	-	70	M	0,252	0,362	0,514
LR	Västerbäck	-	46	W	0,236	0,352	0,574
LR/ZO	Vännäsby	-	34	W	0,248	0,297	0,603
Pendler	Vännäsby	U/Västerslätt	38	M	0,248	0,254	0,593
Pendler	Täfteå	U/Ersboda	35	W	0,259	0,307	0,600
Pendler	Röbäck	U/Ålidhem	31	W	0,299	0,340	0,610
Stadt	U/Mariehem	U/Västerslätt	49	M	0,249	0,316	0,566
Stadt	U/Mariehem	-	20	W	0,368	0,296	0,636

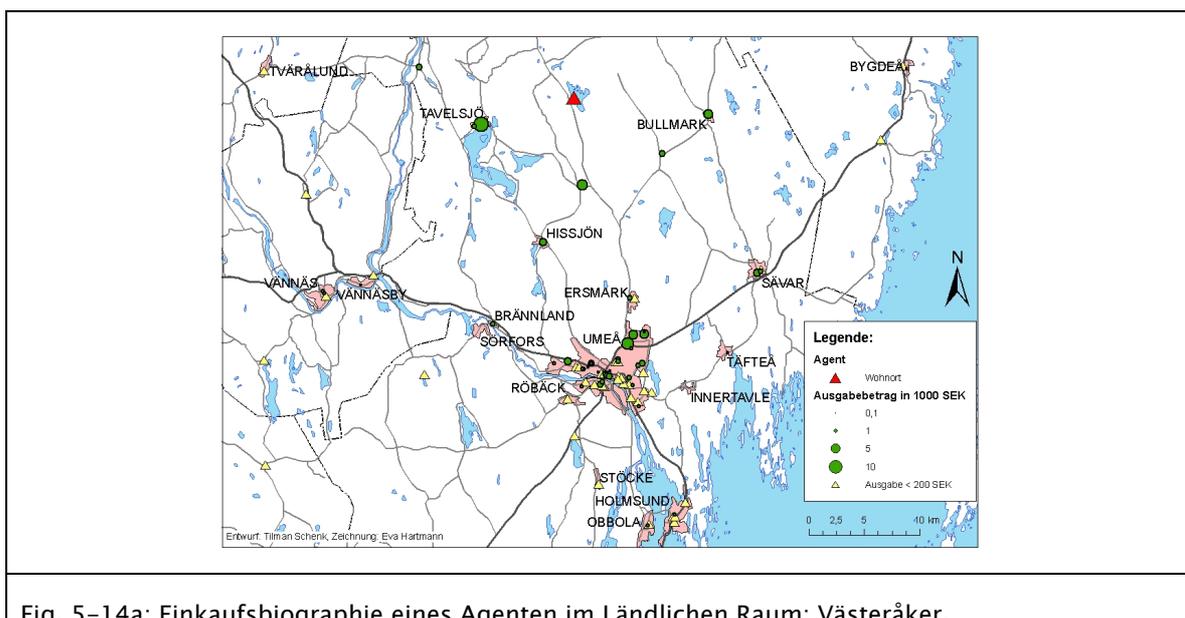
Fig. 5-13: Ausgewählte Agenten für die Biographien-Analyse mit zugehörigen Eigenschaften. LR = Ländlicher Raum, ZO = Zentraler Ort, U = Umeå. Präferenzen nach Gleichungen (5.1d-f).

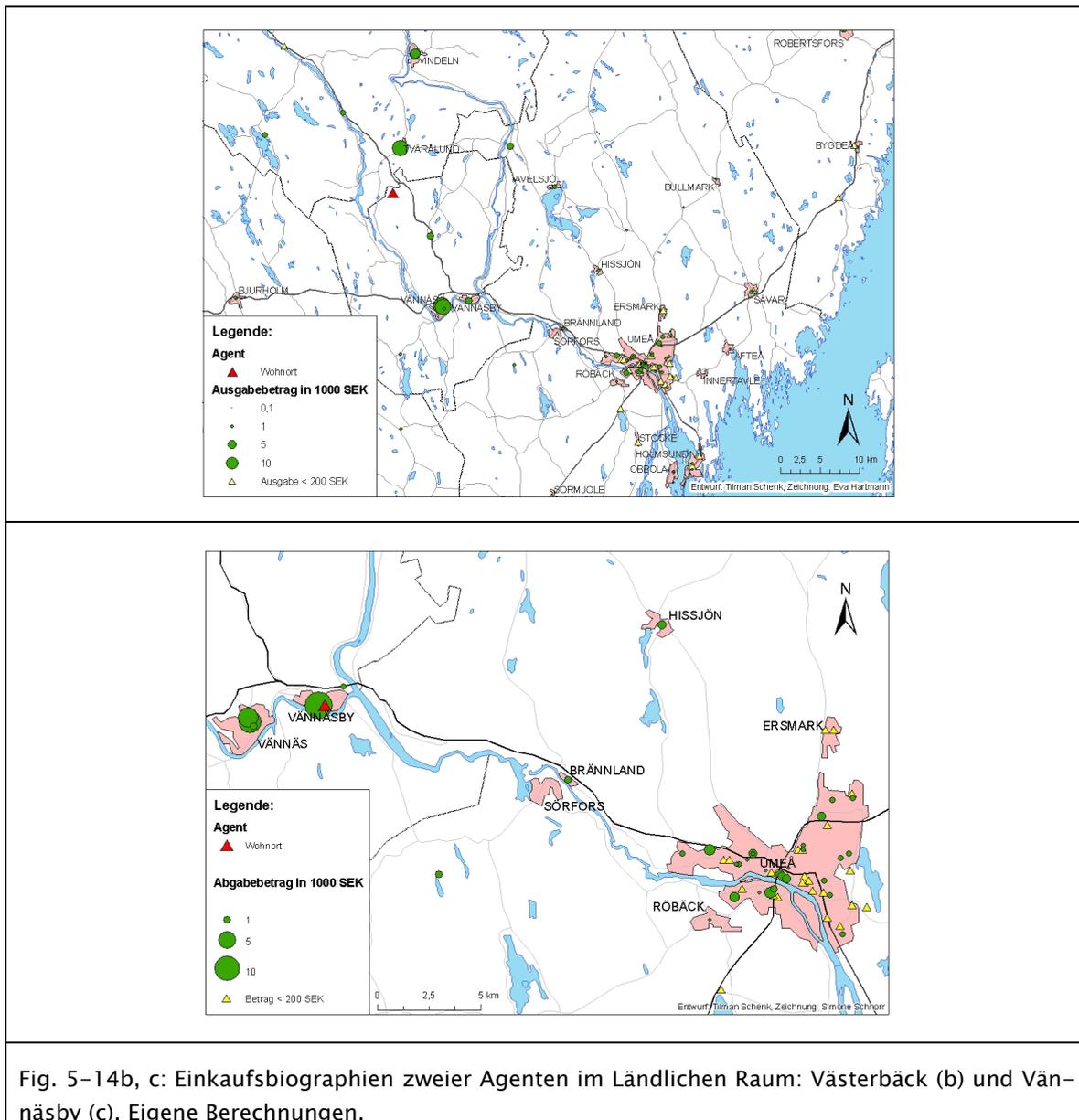
### 5.5.6.1 Bewohner des Ländlichen Raums

Das erste Beispiel ist ein 70jähriger männlicher Rentner, der mit seiner Familie in der Ortschaft Västeråker, etwa 20 km nördlich von Umeå lebt. Die meisten Einkäufe erledigt sein Agent in Wohnortnähe, vor allem beim 300 m<sup>2</sup> großen ICA Matboa in TavelSJö (6.162 SEK jährlich, entspricht 10,1% der Lebensmittelausgaben). Weitere häufig aufgesuchte Standorte sind der Hypermarkt Obs Stormarknad am nördlichen Stadtrand (4.122 SEK / 6,8%), sowie die ebenfalls dem Format Lanthandel zugehörigen Geschäfte Flurmarks Livs in Flurmark (3.073 SEK / 5,0%) und Edmans Handel in Bullmark (2.369 SEK / 3,9%). Die Kombination aus niedriger Sortiments- und hoher Qualitätspräferenz sorgt dafür, dass die näher gelegenen kleineren Geschäfte besser abschneiden als die Standorte mit breit gefächertem Angebot in der Stadt (Fig. 5-14a).

Als zweites Beispiel aus dem Ländlichen Raum wurde eine 46jährige Frau in Västerbäck, an der Europastraße E12 am nördlichen Rand der Kommune Vännäs gelegen, ausgewählt. Während ihr Mann und ihre beiden Kinder im Ort arbeiten, ist sie selbst nicht erwerbstätig. Die drei bedeutendsten Einkaufsorte für ihren Agenten sind die beiden Vollsortimenter Konsumhallen (17.726 SEK / 13,6%) und Ica Stinsen in Vännäs (14.181 SEK / 10,9%), sowie das Geschäft Handelsboden (15.492 SEK / 11,9%) in Tvärälund. Hier gleichen sich die größere Entfernung nach Vännäs und das dort größere Sortiment in etwa aus. Nur vereinzelte Einkaufsfahrten sind auf die Stadt gerichtet (Fig. 5-14b).

Der letzte Agent in dieser Kategorie wohnt in einem der Zentralen Orte des Ländlichen Raums, in Vännäsby. Genau genommen ist Vännäs der Hauptort der gleichnamigen Kommune, bildet jedoch mit Vännäsby einen Doppelort. Diese 34jährige Frau ist ebenfalls nicht erwerbstätig und erledigt die meisten Einkäufe direkt im Konsum an ihrem Wohnort (12.655 SEK / 18,9%). Auch die beiden schon bekannten Vollsortimenter in Vännäs (Ica Stinsen: 8.530 SEK / 12,7%; Konsumhallen: 6.824 SEK / 10,2%) können einen bedeutenden Teil der Kaufkraft ihres Haushalts auf sich ziehen, was auch auf die recht hohe Sortimentspräferenz des Agenten zurückzuführen ist.





### 5.5.6.2 Pendler

Die zweite Kategorie betrifft die der Pendler. Diese Bewohner des Ländlichen oder Suburbanen Raums besitzen einen Arbeitsplatz in der Stadt. Gemäß den Modellannahmen koppeln diese Agenten den Lebensmitteleinkauf mit dem Arbeitsweg. Der erste (männlich, 38 Jahre alt) wohnt ebenfalls in Vännäsby und arbeitet in einem Gewerbegebiet am westlichen Stadtrand von Umeå im Stadtteil Västerslätt. Am attraktivsten aus seiner Sicht erscheint der direkt an seinem Arbeitsweg gelegene Vollsortimenter Ica Puls (8.594 SEK / 12,8%), ebenfalls am westlichen Stadtrand. Auf dem Weg liegt der etwas kleinere Konsum in Brännland (7.274 SEK / 10,9%), auch der im Wohnort liegende Konsum (4.245 SEK / 6,3%) wird noch recht häufig aufgesucht. Die beiden Vollsortimenter in Vännäs liegen zwar recht wohnortnah, jedoch bezüglich des Arbeitswegs in der entgegengesetzten Richtung, und werden daher kaum besucht (Fig. 5-15a).

Die beiden nächsten Beispiele entstammen dem eher Suburbanen Raum um die Stadt Umeå. Der Agent einer 35-jährigen Frau aus Täfteå, fünf Kilometer östlich der Stadt, gibt den weitaus größten Teil ihres Budgets bei dem in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihrem Arbeitsplatz gelegenen Konsum (22.025 SEK / 23,9%) aus. Auf dem Arbeitsweg kommt sie an den im Stadtteil Mariehem nebeneinander liegenden Vollsortimentern Ica Raketen (3.671 SEK / 5,5%) und Konsum (5.506 SEK / 8,2%) vorbei, jedoch spielt auch der Hypermarkt Obs Stormarknad (4.342 SEK / 6,5%) eine etwa gleichberechtigte Rolle, obwohl zu ihm ein Umweg in Kauf genommen werden muss. Dieser profitiert von seiner großen Auswahl, für die der Agent eine überdurchschnittlich hohe<sup>136</sup> Präferenz besitzt. Der am Wohnort befindliche Ica Blå Hallen (2.310 SEK / 3,4%) nimmt den sechsten Platz bezüglich des Kaufkraftanteils ein (Fig. 5-15b).

Im südwestlich gelegenen Vorort Röbbäck hingegen wohnt die 31-jährige Frau mit Arbeitsplatz im Stadtteil Ålidhem. Ihr Agent gibt gleich hohe Anteile ihrer Kaufkraft in den beiden Vollsortimentern des Ålidhemer Stadtteilzentrums, Konsumhallen und Ica Glutens Matmarknad (jeweils 12.626 SEK / 25,8%). Auf dem Arbeitsweg im Stadtteil Teg, südlich des Umeåly, liegen der Discounter Rimi (4.942 SEK / 10,1%) sowie ein weiterer Konsum (1.804 SEK / 3,7%). Am Wohnort selbst befindet sich noch ein mit 215 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche kleinerer Konsum (360 SEK / 0,7%), der nur wenig aufgesucht wird (Fig. 5-15c).

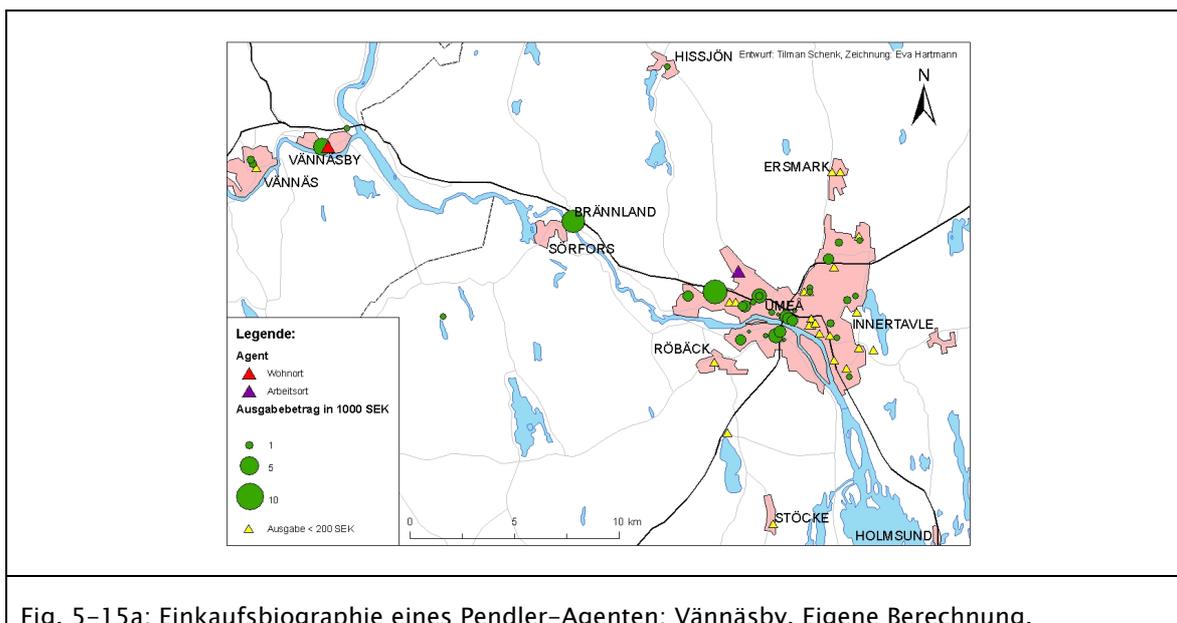


Fig. 5-15a: Einkaufsbiographie eines Pendler-Agenten: Vännäsby. Eigene Berechnung.

<sup>136</sup> Vgl. Fig. 5-3.

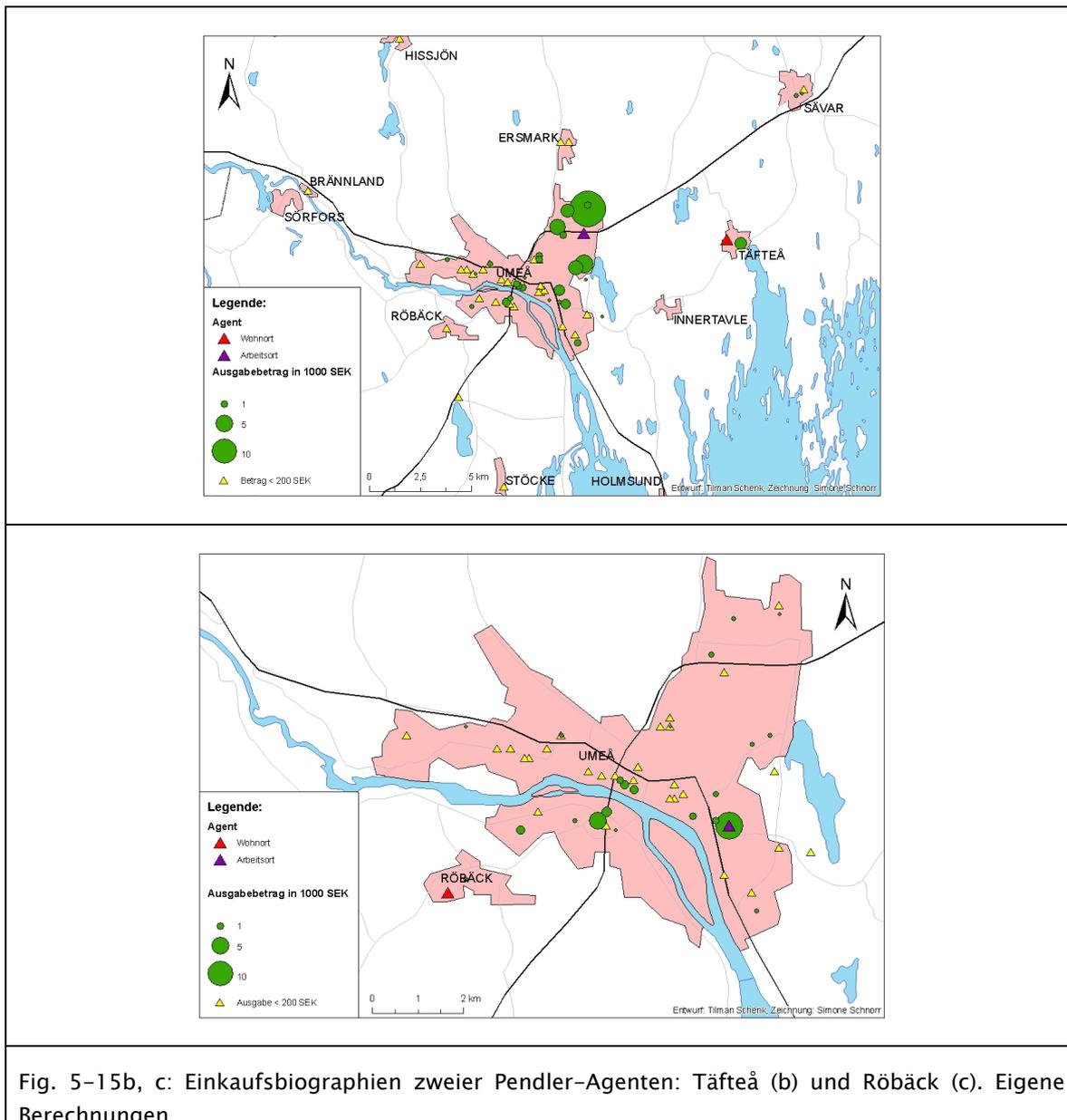


Fig. 5–15b, c: Einkaufsbiographien zweier Pendler-Agenten: Täfteå (b) und Röbäck (c). Eigene Berechnungen.

### 5.5.6.3 Stadtbewohner

Zuletzt werden noch zwei Bewohner der Stadt Umeå selbst betrachtet. Der erste ist ein 49-jähriger Mann mit Wohnsitz in Mariehem und Arbeitsplatz im Gewerbegebiet Västerslätt. Direkt auf seinem Arbeitsweg liegt der Obs Stormarknad (24.231 SEK / 30,7%), der wohl vor allem aus diesem Grund die Mehrheit der Kaufkraft erhält, auch wenn die Preis- und Sortimentspräferenzen dieses Agenten nicht ungewöhnlich hoch sind. Näher am Wohn- bzw. Arbeitsort liegen der Konsum (5.799 SEK / 7,3%) und der Ica Hedlunda (4.437 SEK / 5,6%). Für diesen Agenten sind auch die drei Lebensmittelgeschäfte der Innenstadt nicht unattraktiv (Fig. 5-16a).

Als letztes Beispiel wurde eine 20-jährige Frau ebenfalls aus dem Stadtteil Mariehem, jedoch aus dessen südlichen Abschnitt gewählt, der stark durch studentische Einwohnergrup-

pen geprägt ist. Ihrem niedrigen Einkommen gemäß besitzt ihr Agent eine hohe Preis-, jedoch eine niedrige Qualitätspräferenz. Sie versorgt sich wohnortnah, vorrangig bei den beiden Vollsortimentern in ihrem Stadtteilzentrum Ica Raketen (3.277 SEK / 18,2%) und Konsum (2.185 SEK / 12,1%). Weiter entfernte Geschäfte spielen für ihren Agenten kaum eine Rolle (Fig. 5-16b).

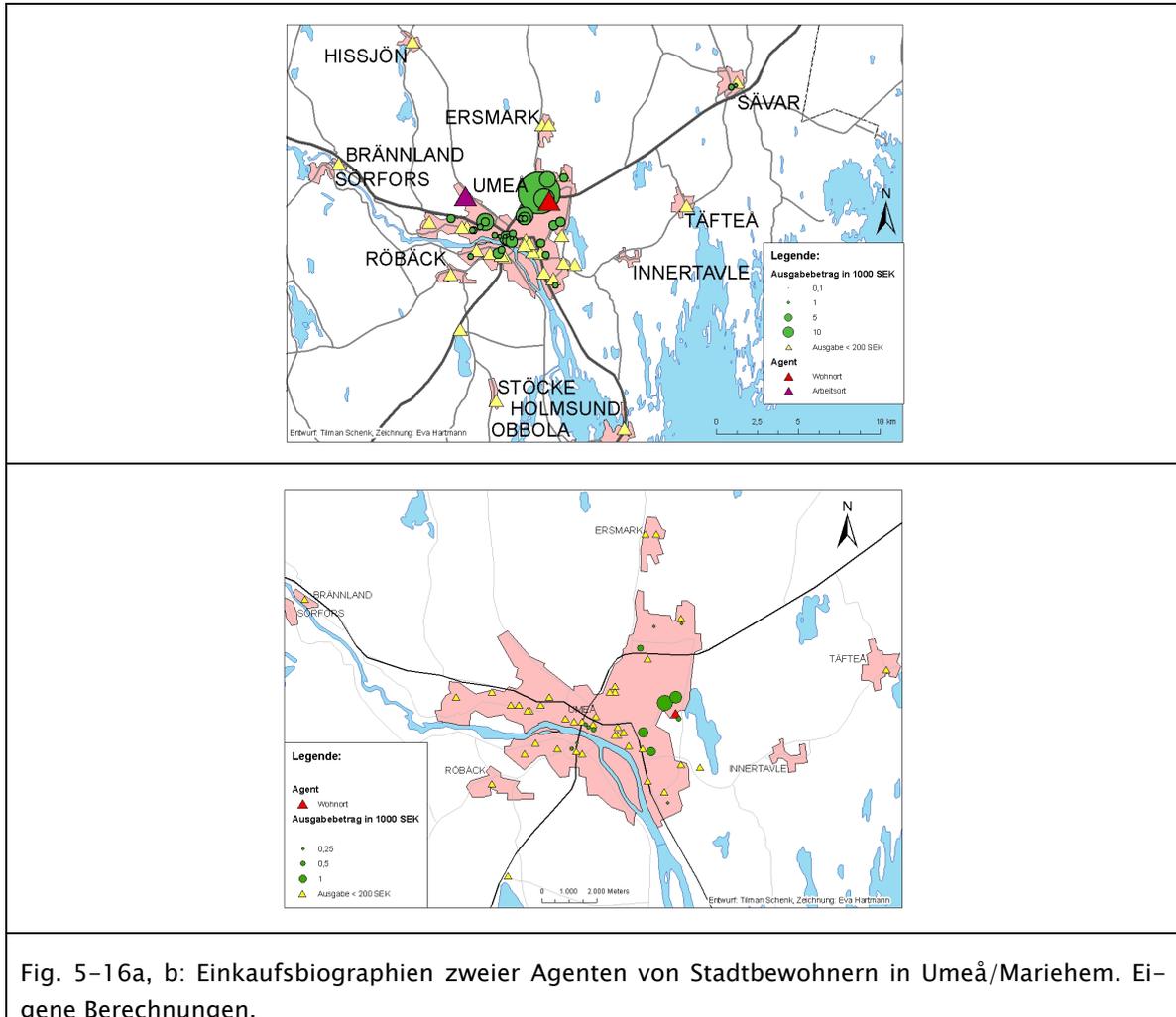


Fig. 5-16a, b: Einkaufsbiographien zweier Agenten von Stadtbewohnern in Umeå/Mariehem. Eigene Berechnungen.

#### 5.5.6.4 Bewertung

In der Regel lassen sich auf der Ebene einzelner Agenten die Auswirkungen von Modellannahmen wesentlich schneller und anschaulicher überprüfen als auf einer aggregierten Ebene. Deutlich sichtbar werden etwa die unterschiedlichen Orientierungen der Kaufkraftströme je nach Versorgung vom Wohnort aus oder auf dem Arbeitsweg. Damit wird der häufigen Kritik einer ausschließlich wohnungsbezogenen Fahrtenmodellierung<sup>137</sup> begegnet. Gleichzeitig wird die Modellierung von Kopplungen mit dem Arbeitsweg auf eine solide empirische Basis gestellt. Obwohl die Distanzen, wie im Fall der Grundversorgung zu erwarten, eine gewichtige Rolle spielen, dominieren sie nicht die übrigen Einflussgrößen in Gestalt der

<sup>137</sup> ARENTZE & TIMMERMANS 2005a: 1.

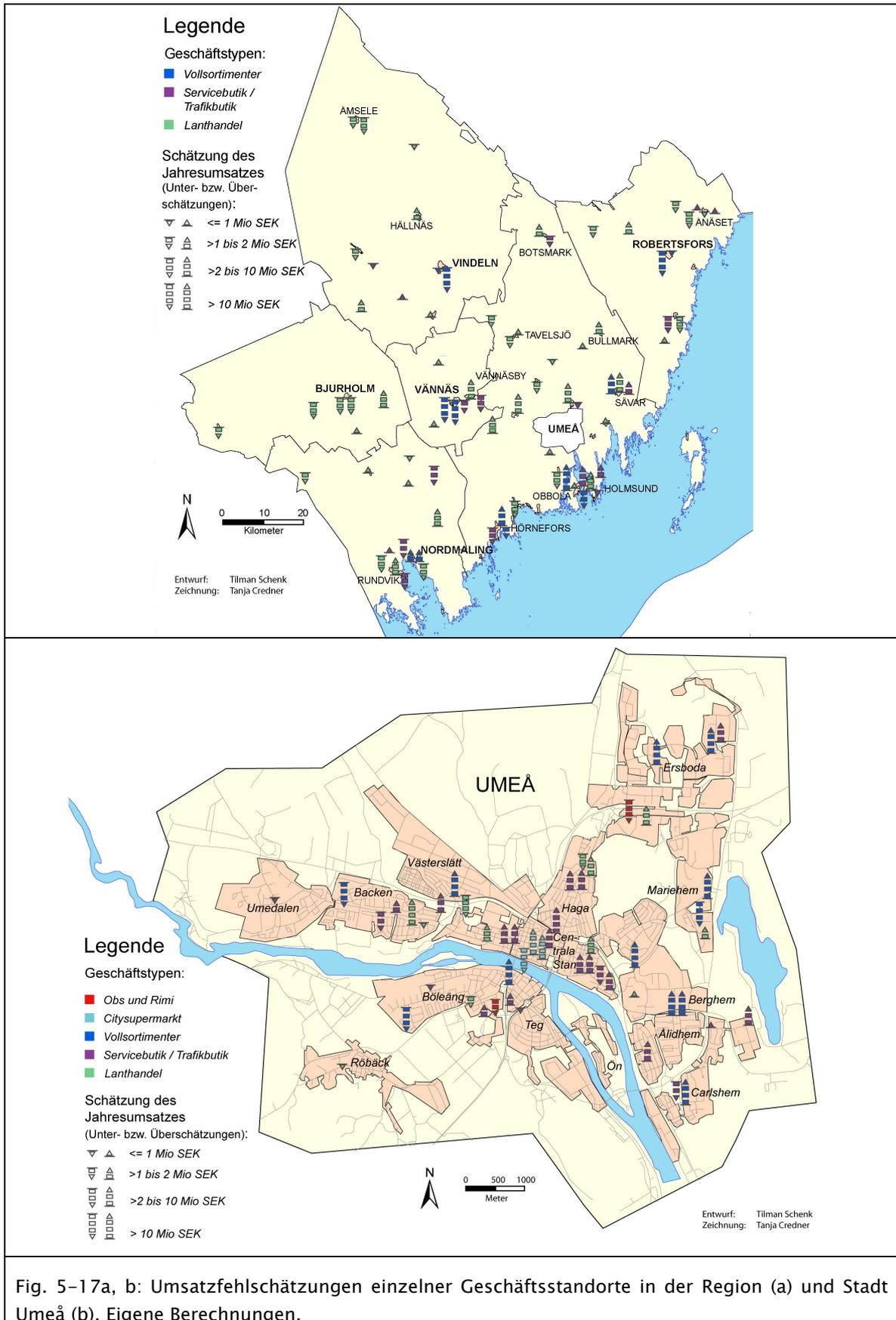
strukturellen Geschäftsattribute und der Konsumpräferenzen der Agenten. Auch die empirisch festgestellten Mehrfachorientierungen und der Einkauf in Transiträumen<sup>138</sup> werden abgebildet. Dabei ist es gelungen, die Erfüllung der Ziele der Modellierung und Simulation auf der Makroebene, eine verlässliche Umsatzschätzung zu erreichen, sowie auf der Mikroebene, plausible Bewegungen der Agenten beim Lebensmitteleinkauf zu erzeugen, zu kombinieren. Defizite ergeben sich jedoch noch bezüglich einer Quantifizierung der Ergebnisse auf der Mikroebene. Auffallend ist etwa die insgesamt breite Streuung der Kaufkraftmengen über eine große Anzahl der Geschäfte, die insbesondere die Kaufkraftanteile der am häufigsten aufgesuchten Verkaufsstellen recht niedrig hält (durchweg <30%). Mit den Mitteln der amtlichen Statistik möglich ist ein Vergleich der Verkehrsaufwände der Modellagenten mit zugehörigen empirischen Daten, der in Kapitel 7.2 vorgenommen wird. Tatsächlich auf Basis der Individuen wären etwa Abgleiche mit Mobilitätstagebüchern anzustellen, deren Ersteller dann mit den realen Repräsentanten der betrachteten Modellagenten identisch sein müssten. Dies ist nicht nur mit erheblichem Mehraufwand verbunden, sondern auch bezüglich des Datenschutzes bedenklich, weshalb in dieser Arbeit darauf verzichtet wurde.

### 5.5.7 Standorte und Gebietseinheiten

Die Ergebnisdarstellung und –bewertung bezog sich in den vergangenen Abschnitten dieses Kapitels zunächst auf die Gesamtgüte des Modells, anschließend wurde die Perspektive der Nachfrageseite eingenommen. Noch nicht beleuchtet wurden jedoch die Güte der Umsatzschätzungen einzelner Geschäftsstandorte und, einer eher regionalwissenschaftlichen Sicht folgend, nach administrativen Gebietseinheiten. In Fig. 5-17a und b sind zunächst die Umsatzfehlschätzungen der Geschäfte dargestellt, wobei diese zusätzlich gemäß ihrem Betriebsformat gekennzeichnet wurden. Zunächst kann festgestellt werden, dass es bezüglich der Formate keine systematischen Fehlschätzungen gibt. So werden beispielsweise die Vollsortimenter sowohl unter- (Holmsund, Robertsfors, Vindeln, Vännäs) als auch überschätzt (Hörnefors, Nordmaling, Obbola, Sävar). Ähnliches gilt für die übrigen Formate (Fig. 5-17a). Innerhalb der Stadt Umeå lassen sich allenfalls lagespezifische Fehlschätzungen feststellen. Hier werden Innenstadt- und Stadtteilzentrumslagen (Carlshem, Haga, Ålidhem) eher überschätzt, großflächige, externe Angebote eher unterschätzt (Obs und Rimi in Teg bzw. Ersboda). Hier kann vermutet werden, dass unter der angenommenen Distanzwahrnehmung autoorientierte Einkaufswege aus den Stadtteilen und der Innenstadt in die externen Lagen nicht ausreichend wiedergegeben werden konnten (Fig. 5-17b).

---

<sup>138</sup> HEINRITZ et al. 2003: 143ff.



Für eine Bewertung der Simulationsergebnisse nach Gebietseinheiten ergeben sich zwei Möglichkeiten. Einerseits können die Geschäfte jeder Gebietseinheit zusammengefasst und für sie ein gemeinsamer Gütemaßwert berechnet werden (Fig. 5-18). Da der Simulationsgegenstand aber die Kaufkraftflüsse sind, bieten sich diese ebenfalls zur Darstellung an. Fig. 5-19 zeigt die simulierten Kaufkraftbindungsquoten, die sich mit den tatsächlichen (Fig. 4-10) vergleichen lassen. Als Gebietseinheiten wurden wiederum die *Församlingar* gewählt.

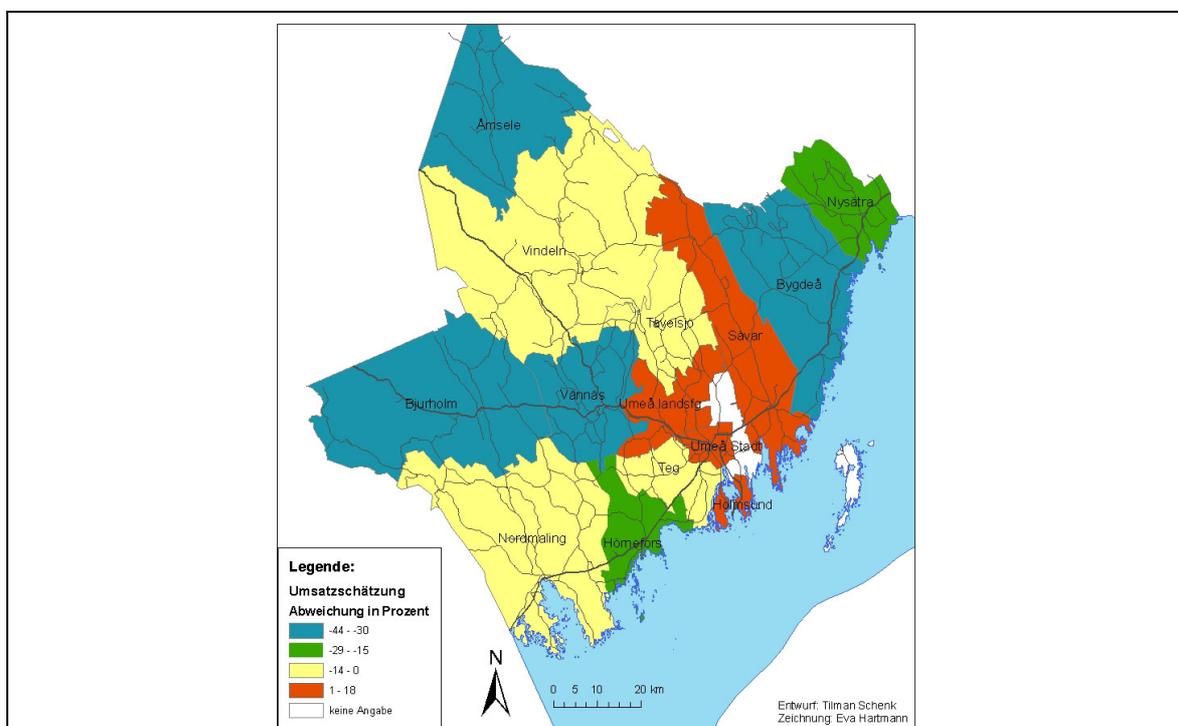
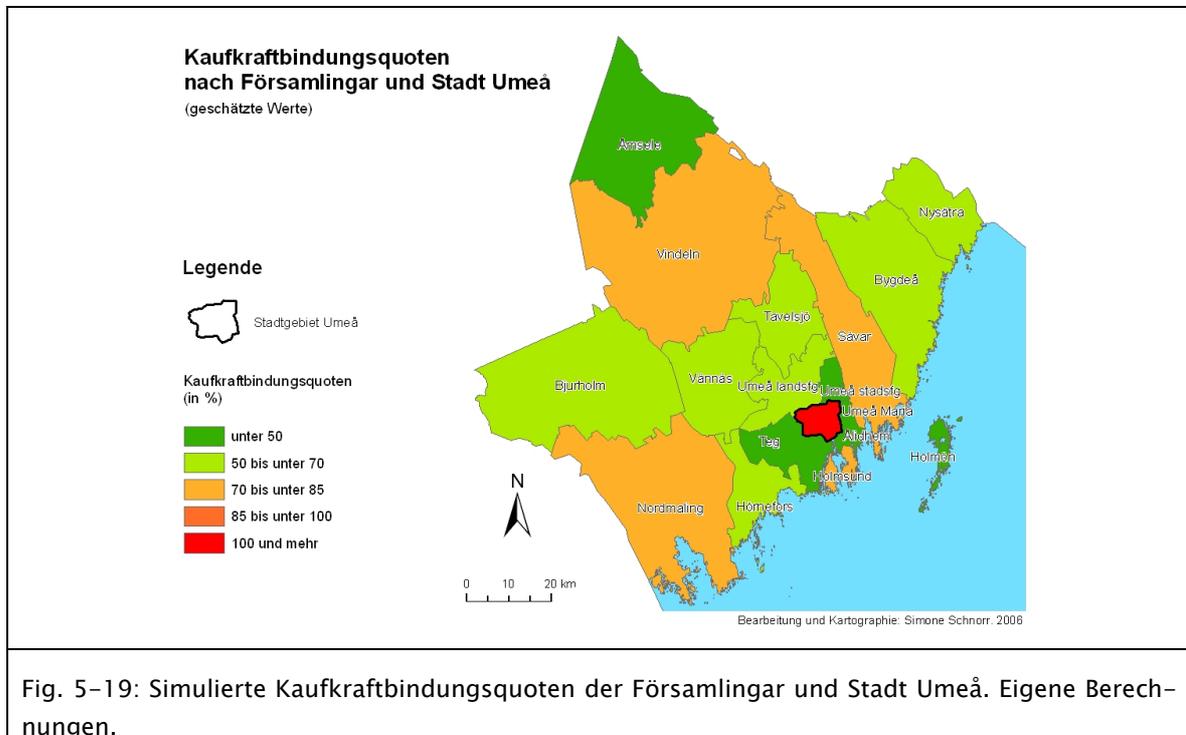


Fig. 5-18: Prozentuale Abweichung der Umsatzschätzungen der Simulation von den tatsächlichen Geschäftsumsätzen in den *Församlingar* und der Stadt Umeå. Eigene Berechnungen.

Geschäfte in den stadtnahen *Församlingar* Holmsund, Sävar, und Umeå landsförsamling werden eher überschätzt, was auf deren überwiegender Kaufkraftabfluss zurückzuführen ist, der nicht ausreichend durch die Simulation reproduziert werden konnte. Trotz einer positiven Kaufkraftflussbilanz wurden die Geschäfte der Stadt Umeå insgesamt dennoch leicht überschätzt. Wesentlich größer sind jedoch die negativen Abweichungen im Hinterland, insbesondere in Bjurholm, Bygdeå, Vännäs und Åmsele. Wie aus einem Vergleich der beiden Kaufkraftbindungskarten (geschätzt: Fig. 5-19; real: Fig. 4-10) ersichtlich wird, tragen die Agenten aus diesen Teilräumen offensichtlich einen gegenüber den realen Verhältnissen erhöhten Anteil ihrer Kaufkraft in die Stadt oder in die übrigen *Församlingar*, da die Kaufkraftbindung dieser Gebietseinheiten kleiner geschätzt wurde, als sie tatsächlich ist. Dies wurde zunächst auf eine Überbetonung des Einkaufens auf dem Arbeitsweg zurückgeführt, da die Agenten erwerbstätiger Individuen stets die Geschäfte nach der Lage bezüglich ihres Arbeitswegs bewerten und die Stadt Umeå einen Einpendlerüberschuss aufweist (Fig. 4-9). Jedoch ergaben Experimente, bei denen nur ein Teil der Kaufkraft auf dem Arbeitsweg alloziert wird, nur geringfügig andere Ergebnisse. Hier macht sich also eher die fehlende Geschäftsvorauswahl durch die Agenten bemerkbar, was zwar zur Abbildung der Mehrfachorientierung sehr nutzbringend war, jedoch dazu führt, dass von jedem Agenten sehr kleine

Beträge auch zu weit entfernte Geschäften fließen, die in der Summe auf die Kaufkraftbindung durchschlagen. Ähnliches gilt für die nicht ganz so stark unterschätzten Geschäftsumsätze in den übrigen *Församlingar*. Für die weiß eingefärbten liegen deshalb keine Angaben vor, weil sich in ihnen kein Geschäft befindet. Damit ist ihre Kaufkraftbindung gleich Null.



## 5.6 Endstand des Modells

Der Übersichtlichkeit halber ist es angebracht, den endgültigen Stand des Modells inklusive seiner Annahmen abschließend festzuhalten. Auf der Angebotsseite stehen 132 Lebensmittelgeschäfte der Region, die mittels eines planaren Koordinatensystems auf 100 Meter genau verortet sind. Daneben besitzen die Geschäfte strukturelle Attribute, deren Werte teils aus empirischen Studien, teils aus eigener Erhebung stammen und durch logistische Wahrnehmungsfunktionen mit Parameterwerten nach Fig. 5-11 verformt werden. In das Modell fließen lediglich noch die Merkmale Preis, Qualität und Sortimentsbreite/-tiefe ein. Auf der Nachfrageseite stehen die Haushalte mit ihren Mitgliedern, die auf dem gleichen Koordinatensystem verortet sind. Ebenfalls enthalten sind bei Erwerbstätigkeit die Koordinaten des Arbeitsplatzes. Aus Erkenntnissen einer Konsumentenbefragung stammen Werte für Konsumpräferenzen bezüglich der genannten Geschäftsattribute. Die lebensmittelrelevante Kaufkraft wurde nach empirischen Studien aus dem verfügbaren Einkommen geschätzt.

Jeder Familienagent wählt eines seiner Mitglieder für die Einkaufsaktion aus. Diese bewerten die Geschäfte gemäß Gleichung (5.4a). Eine Vorauswahl findet nicht statt. Jeder Agent gewichtet die verformten Geschäftsattribute mit seinen individuellen Konsumpräferenzen und summiert diese auf. Als Distanzbewertung erhält jedes Geschäft einen Distanzrangplatz, der aus der euklidischen Distanz zum Geschäft gebildet wird. Gleich weit entfernte Geschäfte erhalten denselben Rangplatz. Ist das Individuum nicht erwerbstätig, wird dafür

die euklidische Distanz zwischen Wohnort und Geschäft herangezogen, andernfalls die Umwegdistanz, verstanden als der zusätzlich zu tätige Distanzaufwand zum Geschäft auf dem Weg zum oder vom Arbeitsplatz. Die Überquerung der Flüsse Umeälv und Vindelälvs ist dabei nur an den Standorten von Brücken möglich. Distanzen zwischen Orten auf verschiedenen Flussseiten setzen sich aus der euklidischen Distanz vom Ausgangsort zur Brücke und von dort zum Zielort zusammen. Im letzten Schritt verteilen die Agenten ihre Kaufkraft gemäß der Werte der Bewertungsfunktion (5.4a) anteilig auf die Geschäfte. Diese Kaufkraftanteile werden bei den Geschäften als Umsatzschätzung aufsummiert. Die zum Endstand des Modells erreichten Gütemaßwerte zeigt Fig. 5-20.

Geschäfte	Anzahl	Gütemaßwert
Alle	132	0,721
Alle (absolute Abweichungen $R^{(1)}$ nach (5.5b))	132	0,571
<i>Trafikbutiker</i> (Tankstellenshops)	22	0,399
<i>Servicebutiker</i> (Kioske)	19	-0,197
<i>Lanthandel</i> (200-400 m <sup>2</sup> )	61	0,830
City-Supermärkte	3	0,913
Vollsortimenter (>400 m <sup>2</sup> )	25	0,795
Hypermarkt	1	0,597
Discounter	1	0,987

Fig. 5-20: Gütemaßwerte  $R^{(2)}$  nach (5.5a) (außer anders angegeben) für alle und für Gruppen von Geschäften. Simulationsjahr 1997, eigene Berechnungen.

In der zweiten Zeile der Tabelle lässt sich erkennen, dass knapp 60% der in der Region zuzuordnenden Kaufkraft von der Simulation korrekt alloziert wurden. Allgemein ist festzustellen, dass die Umsatzprognose für solche Gruppen von Geschäften bessere Ergebnisse lieferte, je homogener diese bezüglich ihres Umsatzes sind. Für *Lanthandel* und Vollsortimenter, die (realiter) zusammen 66,3% der Kaufkraft in der Region auf sich vereinen können, liegen die Gütemaßwerte der Schätzung sogar noch über dem für alle Geschäfte. Starke Abweichungen nach unten ergeben sich vor allem für die flächen- und umsatzmäßig eher kleinen Formate der *Service-* und *Trafikbutiker*, die jedoch im Gesamtergebnis nur wenig zu Buche schlagen, da sie im Lebensmittelbereich einen Marktanteil von nur 6,7% haben. Die höchsten Gütemaßwerte werden für die drei City-Supermärkte und den Discounter erreicht, wobei deren geringe Anzahl und ihr vergleichsweise niedriger Umsatzanteil von 14,4% diese Werte etwas relativieren.